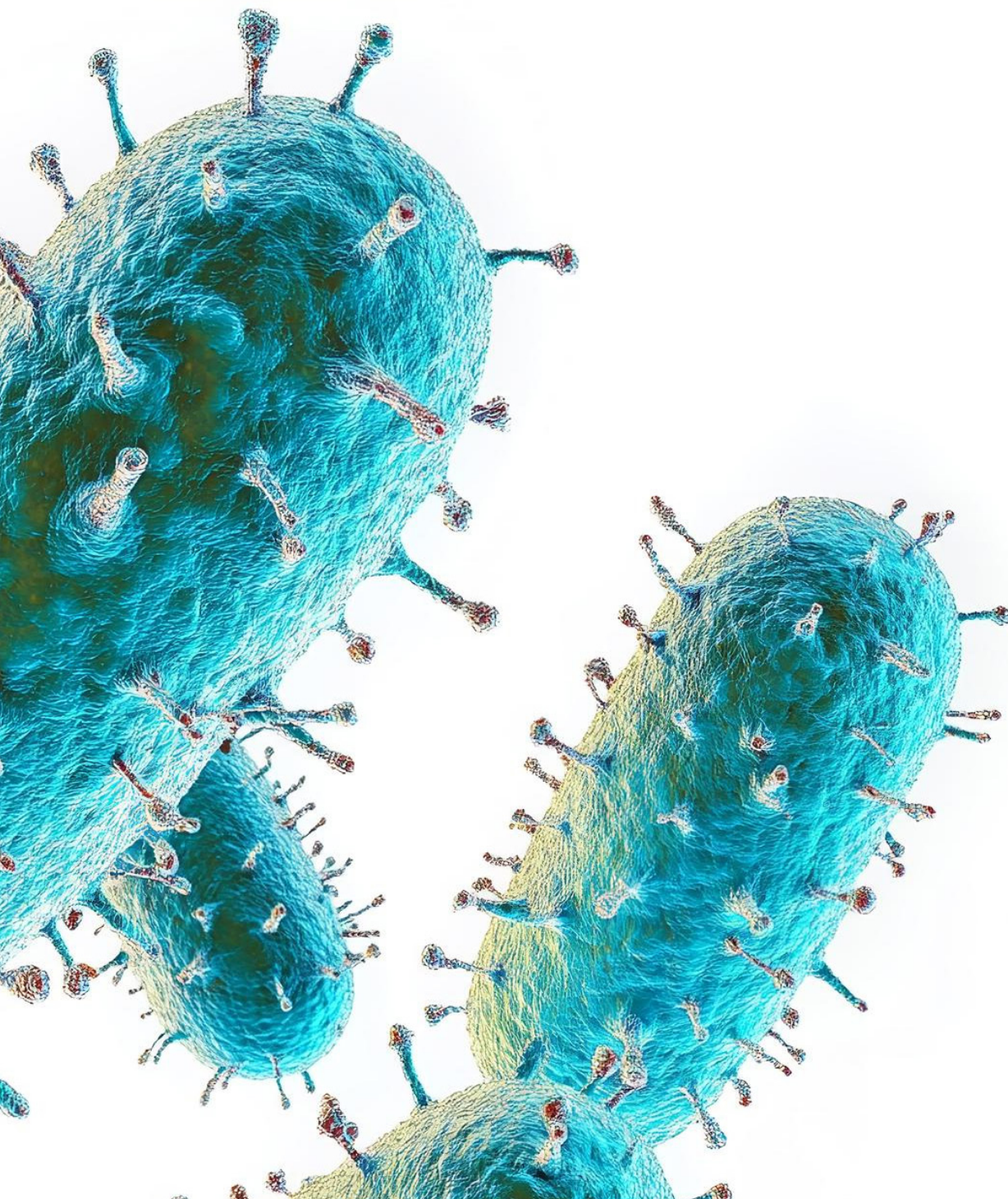




FRONTERA BIOTECNO LÓGICA



Biopelículas y
pigmentos en
la conservación
inteligente de
alimentos

Flores amarillas
endémicas del estado
de Tlaxcala: Usos y
posibles aplicaciones
como colorantes
naturales

Hongos cultivados
en México: Alcances
biotecnológicos y
culturales

¿Qué le ocurre a la planta
de chícharo cuando hay
exceso de sal en el suelo?

Nanosensores
electroquímicos.
Una alternativa para la
detección de antioxidantes
en alimentos

Plastificantes bajo la lupa:
toxicidad y la promesa de
la biorremediación

Bacteriocinas: armas
naturales contra bacterias
y aliadas en la salud y la
alimentación

Memorias del: XXXI Jornadas
Académicas del Doctorado en
Ciencias en Biotecnología



Directorio Institucional

Arturo Reyes Sandoval
Director General

Ismael Jaidar Monter
Secretario General

María Isabel Rojas Ruíz
Secretaria Académico

Martha Leticia Vázquez González
Secretaria de Investigación y Posgrado

Yessica Gasca Castillo
Secretaria de Innovación e Integración Social

Marco Antonio Sosa Palacios
Secretario de Servicios Educativos

Ana María Arrona González
Secretaria de Administración

José Alejandro Camacho Sánchez
Secretario Ejecutivo del Patronato de
Obras e Instalaciones

Marx Yazalde Ortiz Correa
Abogado General

Modesto Cárdenas García
Presidente del Decanato

Marco Antonio Ramírez Urbina
Coordinador de Imagen Institucional



Diana Verónica Cortés Espinosa
Directora del CIBA-IPN, Tlaxcala

María del Carmen Cruz López
Subdirectora Académica del CIBA-IPN, Tlaxcala

Erik Ocaranza Sánchez
Subdirector de Vinculación del CIBA-IPN, Tlaxcala

Víctor Eric López y López
Editor en Jefe

Miriam Martínez Méndez
Coordinadora de Enlace y Gestión Técnica

Jaime Rivera Contreras
Diseño y Diagramación Frontera Biotecnológica

Ismael Sánchez González
Unidad de Tecnología Educativa y Campus Virtual

Gonzalo Pérez Araiza
Soporte Técnico

Lilia Espindola Rivera
Coordinadora Administrativa

ipn.mx

revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx
rfronterab@ipn.mx

FRONTERA BIOTECNOLÓGICA, año 14, número 34, mayo – agosto 2026, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Politécnico Nacional a través del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Conmutador IPN:57296000, Ext. 87816. <http://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/>, Editor responsable: Dra. María del Carmen Cruz López. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-120313501700-203, ISSN: 2448-8461, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Dra. María del Carmen Cruz López., Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, fecha de última modificación, 10 de julio de 2026.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.



Contenido

4

Mensaje Editorial

46

¿Qué le ocurre a la planta de chícharo cuando hay exceso de sal en el suelo?

6

Biopelículas y pigmentos en la conservación inteligente de alimentos

56

Nanosensores electroquímicos. Una alternativa para la detección de antioxidantes en alimentos

20

Flores amarillas endémicas del estado de Tlaxcala: Usos y posibles aplicaciones como colorantes naturales

68

Plastificantes bajo la lupa: toxicidad y la promesa de la biorremediación

34

Hongos cultivados en México: Alcances biotecnológicos y culturales

80

Bacteriocinas: armas naturales contra bacterias y aliadas en la salud y la alimentación

94

Memorias del: XXXI Jornadas Académicas del Doctorado en Ciencias en Biotecnología

Mensaje Editorial

agosto 2026

La curiosidad, la colaboración y el compromiso de quienes dedican su esfuerzo a generar y compartir conocimiento permiten el avance de la ciencia, ocasionando en la sociedad un cambio en la forma de pensar que puede ayudar a lograr un mayor bienestar. Por ello es muy gratificante presentar en este número artículos que reflejan la diversidad y dinamismo de la investigación, encontrando disciplinas como la biología, la agricultura, la química y la biotecnología que convergen en un tema central sobre alimentos seguros y su efecto sobre la salud, tema de gran relevancia tanto para la comunidad científica como para la sociedad.

En este número encontrarán información sobre el estudio de las bacteriocinas y su potencial como agentes antimicrobianos; el desarrollo de biosensores electroquímicos para la detección de antioxidantes; hongos como fuentes de sustancias bioactivas; el efecto de condiciones climáticas sobre cultivos de uso alimentario; el papel de las biopelículas y los pigmentos en la conservación de alimentos; así como una revisión del potencial de las flores amarillas como fuente de colorantes para la industria alimentaria y la importancia de revisar el uso de plásticos en los envases de diferentes productos, incluidos alimentos, debido a su efecto dañino en la salud humana. En conjunto, estos trabajos evidencian cómo la investigación multidisciplinaria contribuye a ofrecer soluciones innovadoras a desafíos relacionados con la salud, la producción agrícola, la seguridad alimentaria y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Este volumen representa también una etapa de transición para nuestra revista, iniciamos un proceso de actualización orientado a fortalecer la calidad editorial, optimizar nuestros procesos y ampliar el alcance de los contenidos que ponemos a disposición de nuestros lectores; respondiendo al compromiso permanente de consolidar una publicación que promueva la divulgación científica con altos estándares de calidad, accesibilidad y pertinencia.

Aprovecho este espacio para expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que hacen posible la publicación de este número; reconociendo la dedicación de los autores que confían en nuestra revista para difundir sus investigaciones y revisiones; el profesionalismo y la generosidad de los revisores, cuyo trabajo fortalece la calidad de los manuscritos; el esfuerzo del comité editorial y del equipo técnico, que hacen realidad cada edición; y, por supuesto, la confianza de nuestros lectores, quienes dan sentido a nuestra labor.

Les invito a recorrer las páginas de este número con la certeza de que el conocimiento científico continúa siendo una herramienta indispensable para comprender nuestro entorno y contribuir al desarrollo de una sociedad más informada y sostenible.

Dra. María del Carmen Cruz López
Editor en Jefe







Biopelículas y pigmentos en la conservación inteligente de alimentos

Jennifer García Titla¹, Andrei Elena Carrera¹, Evelyn Citlalli Salinas Segundo¹, Arantza Sánchez Orantes¹, Erik Ocaranza Sánchez², Isaí López Márquez³, Sulem Yali Granados Balbuena^{1,2}

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Tlaxcala del Instituto Politécnico Nacional, Guillermo Valle, Tlaxcala, México

²Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional, Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla, km 1.5, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, C.P. 90700, México.

³Area Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Mineral de la Reforma, 42184, Hidalgo, México

Resumen

Derivado de la creciente evidencia sobre los efectos adversos en la salud y el ambiente asociados a los polímeros de origen petroquímico, como los microplásticos, la industria alimentaria ha comenzado, en los últimos años, a adoptar alternativas más sostenibles en los materiales de envasado de alimentos perecederos. Por lo que el desarrollo de envases elaborados a partir de polímeros biodegradables y que incluso integren indicadores de frescura como los colorantes naturales a fin de proporcionarle al consumidor final información visual sobre el estado de conservación del producto, representa una alternativa sin riesgo de ingesta de microplásticos. Bajo este enfoque, el uso de antocianinas como indicadores de frescura se ha convertido en una alternativa más segura debido a su alta capacidad de respuesta a variaciones de pH y su baja toxicidad; asimismo, su incorporación en biopelículas constituye una estrategia funcional para el desarrollo de envases inteligentes. En la presente revisión se exploran aspectos generales de las biopelículas inteligentes indicadoras de frescura a partir de antocianinas incorporadas a envases en la conservación de alimentos perecederos tales como pescado, carne, leche, queso y yogurt.

Palabras clave: Biopelículas, envase inteligente, empaque, antocianinas.



Abstract

In light of growing evidence regarding the adverse effects on health and the environment associated with petrochemical-based polymers, such as microplastics, the food industry has, in recent years, begun to adopt more sustainable alternatives for packaging perishable foods. Therefore, the development of packaging made from biodegradable polymers, which may even incorporate freshness indicators such as natural colourants to provide the end consumer with visual information on the product's condition, represents an alternative with no risk of microplastic ingestion. Under this approach, the use of anthocyanins as freshness indicators has become a safer alternative due to their high responsiveness to pH variations and low toxicity; furthermore, their incorporation into biofilms constitutes a functional strategy for the development of smart packaging. This review explores general aspects of smart freshness-indicating biofilms based on anthocyanins incorporated into packaging for the preservation of perishable foods such as fish, meat, milk, cheese and yoghurt.

Keywords: biofilms, smart packaging, food preservation, anthocyanins.



Introducción

El plástico es un material indispensable en la fabricación de productos de uso cotidiano, maquinaria industrial y construcción, debido a su bajo costo y propiedades como resistencia a la deformación y estabilidad química y lumínica, lo que lo convierte en uno de los materiales más demandados mundialmente (Jones *et al.* 2022; Operato *et al.* 2025).

Con respecto al sector de envases y embalajes para alimentos, el plástico es uno de los pilares dentro de la cadena de producción alimentaria mundial, ya que, a partir de ellos, se fabrican los envases que permiten conservar, proteger y transportar los alimentos de forma práctica (Operato *et al.* 2025). En la industria alimentaria los polímeros más empleados por su versatilidad y resistencia son: HDPE (Polietileno de alta densidad), Nylon, PVC (Policloruro de vinilo), PP (Prolipropileno), PE (Polietileno) y PET (Tereftalato de polietileno) (Katsara *et al.* 2021; Chirilli y Torri 2023). En 2021 de acuerdo con la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) en México entre el 40% y el 50% de los plásticos de un solo uso en México provienen de empaques y envases. Sin embargo, el uso masivo de estos envases se ha convertido en un reto ambiental, pues contribuye al cambio climático, al alto gasto energético y a la disminución de las reservas globales de petróleo (Jones *et al.* 2022). Mientras que, en el ámbito de la salud pública se conoce el potencial dañino de los microplásticos en varios sistemas y órganos del cuerpo humano principalmente el sistema digestivo responsable de la absorción de nutrientes (Niccolai *et al.*, 2023).

Esta problemática exige soluciones eficaces para reducir su impacto ambiental y social en la biósfera. Por ello, la búsqueda de alternativas sostenibles no es solo una opción, sino una necesidad impostergable. Esta transición pretende reducir el impacto ambiental, minimizar riesgos para el consumidor y, al mismo tiempo, ofrecer envases con funciones avanzadas: no solo proteger los alimentos, sino también informar sobre su frescura y calidad, alineándose con las demandas actuales de seguridad alimentaria, inocuidad y responsabilidad ecológica (Teixeira *et al.* 2025).

Como consecuencia han surgido alternativas a los envases tradicionales, tales como biopelículas y envases biodegradables; que son un tipo de plástico degradable resultado de la acción de microorganismos como bacterias, hongos y algas que los convierte en opciones más sostenibles frente a los materiales convencionales (Hailu, 2025).

Sin embargo, que un envase sea biodegradable no implica necesariamente que cumpla otras funciones adicionales más allá del simple envasado; por ello, en los últimos años se ha buscado dotar a estos materiales de propiedades que permitan monitorear el estado del alimento. Así, han emergido los llamados envases inteligentes, que pueden detectar cambios físicos, químicos o microbiológicos durante el almacenamiento de los productos, proporcionando una señal visible para alertar sobre su calidad o frescura (Yildirim *et al.* 2018; Teixeira *et al.* 2025).

Con respecto a la inteligencia de un envase, dentro de los diferentes productos que pueden ser adicionados a las matrices de las películas biopoliméricas; biomoléculas activas como polifenoles, flavonoides y saponinas, pero principalmente los colorantes alimentarios de origen natural emergen como potenciales indicadores de frescura derivado de su capacidad de cambiar de color en función de las condiciones fisiológicas de los alimentos (Alizadeh-Sani *et al.* 2020).

¿Qué son y de qué están hechas las biopelículas?

En la tecnología de envases de alimentos, una biopelícula se refiere a una capa fina comestible, elaborada a partir de biopolímeros (almidón de maíz, carboximetilcelulosa, quitosano, gelatina), que se aplica directamente sobre el alimento o integra el envase (Figura 1). Su función principal es actuar como una barrera selectiva, impidiendo la pérdida o ganancia de humedad y regulando el intercambio de gases como el oxígeno y el dióxido de carbono con el exterior del envase. Esta acción ayuda a retrasar las alteraciones en la textura, turgencia y valor nutricional de los alimentos que resguarda, extendiendo así su vida útil (Solano-Doblado *et al.* 2018).

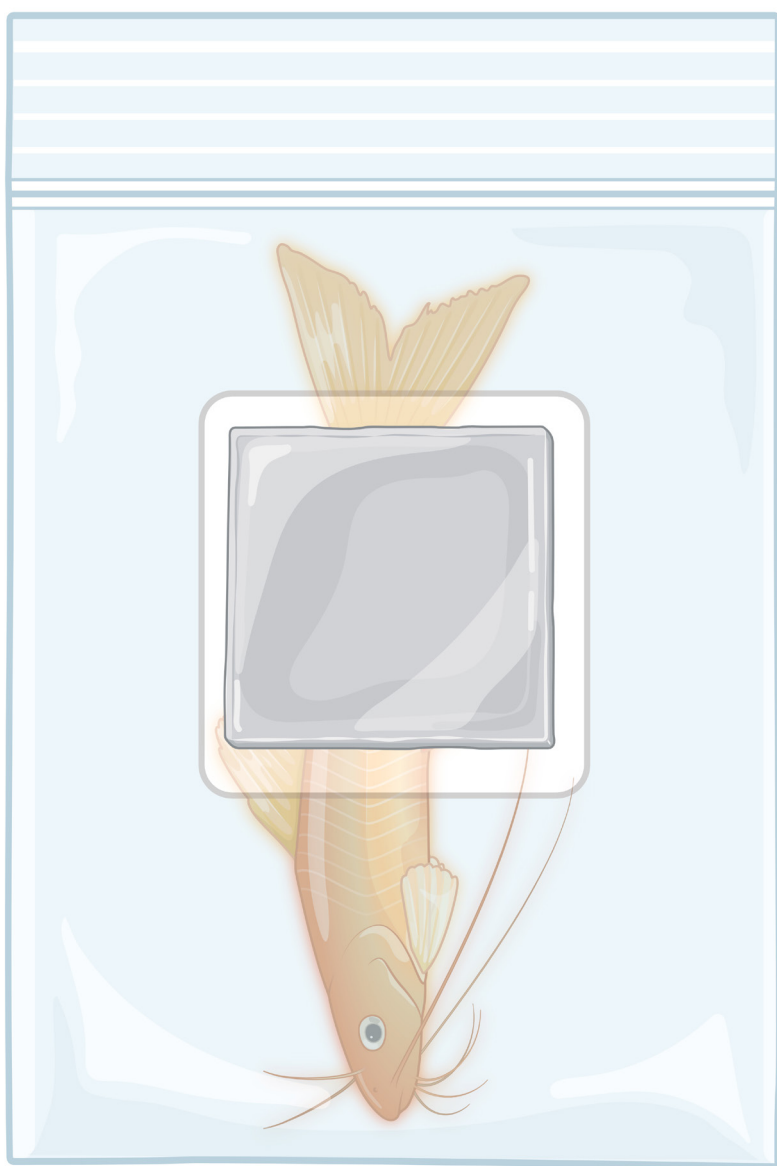
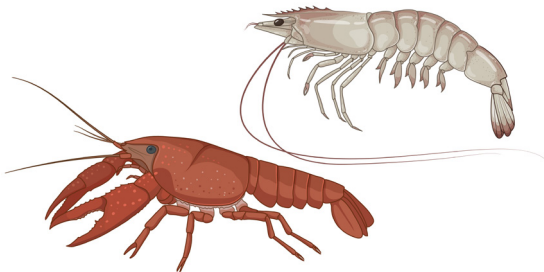


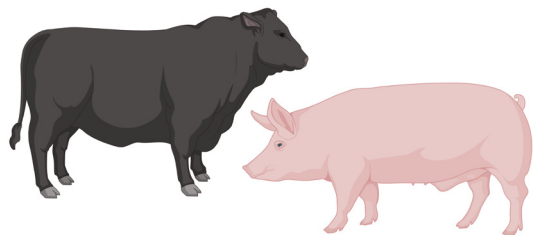
Figura 1. Una biopelícula se puede añadir a un envase como aditivo.

La elección de los materiales de fabricación para las biopelículas es fundamental para su desarrollo. Biomoléculas como el quitosano, el almidón, la celulosa y la grenetina son las alternativas más estudiadas debido a su biodegradabilidad, baja toxicidad y amplia disponibilidad (Tabla 1) (Zhao *et al.* 2021).



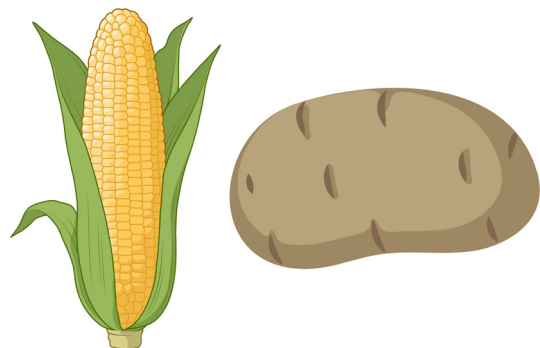
QUITOSANO

Detección en tiempo real el deterioro del pescado observando un cambio de color de verde (producto fresco) a azul (producto en descomposición).



GRENETINA

Obtenida del colágeno de origen animal, la gelatina destaca por su capacidad filmogénica, bajo costo y propiedades mecánicas favorables, que permiten la formación de películas resistentes y elásticas. (Peralta *et al.*, 2019).



ALMIDÓN

Este polisacárido de origen vegetal es una materia prima abundante y renovable. Las películas de almidón son transparentes e incoloras, aunque suelen requerir de modificaciones o la adición de plastificantes para mejorar su flexibilidad y resistencia mecánica. (Das *et al.*, 2023).

Tabla 1. Materiales de elaboración de biopelículas y fuentes de obtención.



Envases inteligentes

El verdadero potencial innovador de las biopelículas se despliega cuando se funcionalizan, es decir, cuando se les incorporan compuestos bioactivos que les confieren propiedades adicionales, trascendiendo su rol pasivo de barrera para convertirse en un sistema de envasado inteligente (Arora *et al.*, 2025).

Como envases inteligentes, su función más innovadora es la de indicador de frescura a través de cambios de color, ya que, durante el deterioro de alimentos perecederos, la actividad microbiana genera metabolitos volátiles como aminas o ácidos lácticos, que altean el pH dentro del envase, cambiando a su vez la estructura química del pigmento (Liu *et al.*, 2025). Esta capacidad de monitoreo visual en tiempo real convierte a las biopelículas inteligentes en una poderosa herramienta para garantizar la seguridad del consumidor (Figura 2).

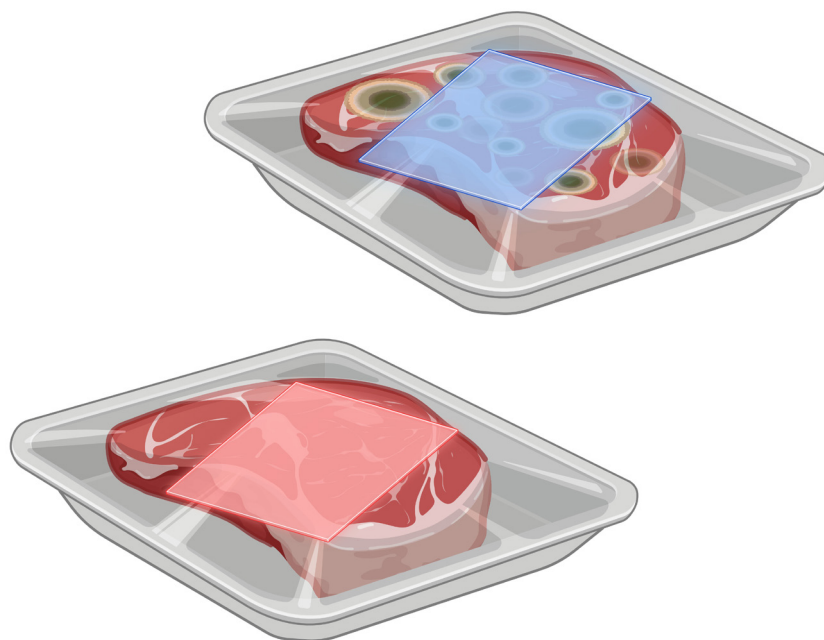


Figura 2. Los envases indicadores de frescura permiten un monitoreo visual de los alimentos perecederos.

¿Que indica la frescura en un alimento?

La carne, los mariscos y los lácteos son alimentos básicos dentro de la dieta de las personas ya que además de ser de fácil acceso, su aporte nutricional es rico en grasas y proteínas, entre otros tales como; hierro, vitaminas liposolubles, ácidos grasos como el Omega-3, calcio, zinc, aminoácidos, colesterol HDL y LDL. Sin embargo, a este gran contenido de nutrientes se suma generalmente una elevada carga microbiana (cantidad de microorganismos presentes en un entorno) derivado de actividades como el corte, pesca u ordeña, transporte y almacenamiento del alimento, acelerando su deterioro y por ende representando un riesgo para la salud (Zhao *et al.*, 2025).

En el caso del cerdo y los camarones, su descomposición principalmente es iniciada por rupturas

en la cadena de frío y el eventual calentamiento del producto libera principalmente compuestos orgánicos volátiles (COV) y sulfuro de hidrógeno (Wu *et al.*, 2025). Por otra parte, en la leche, por ejemplo, un aumento en el crecimiento de bacterias generará un incremento en la concentración de ácido láctico causando la desnaturalización de proteínas como la caseína, derivando en la emisión de gases amina (Wu *et al.*, 2024).

Estas sustancias liberadas por las bacterias pueden causar intoxicación alimentaria provocando síntomas como náuseas, vómitos, diarrea y en algunos casos complicaciones de salud más severas, como salmonelosis, campilobacteriosis o botulismo (Liang *et al.* 2025). Generalmente cuando la concentración de nitrógeno volátil supera a los 15 mg/100 g, la carne se considera deteriorada y se considera dañina en comparación a los 10 mg/100 g cuando se le considera fresca y segura (Song *et al.*, 2025).

Envases inteligentes, el futuro es hoy

Para afrontar con los problemas derivados del monitoreo de frescura, algunos productos han implementado indicadores colorimétricos o moléculas halocrómicas de origen químico para monitorear la frescura de alimentos perecederos como carnes y productos lácteos. Estos indicadores se basan en compuestos sensibles al pH, los cuales cambian su color cuando el pH aumenta debido a la liberación de aminos volátiles generadas durante la descomposición del alimento. Estos indicadores o también conocidos como moléculas halocrómicas de origen no natural

son: el naranja de metilo, el rojo de metilo, el púrpura de bromocresol, el verde de bromocresol, el azul de bromotimol, el amarillo brillante y el rojo de fenol; y de origen natural: las antocianinas, betalainas, curcuminas y clorofilas. Dicho cambio se observa cuando el colorante, incorporado a la esencia de estas sustancias (Pacquit et al. 2007; Zhang *et al.* 2025). Algunos estudios han desarrollado películas con colorantes sintéticos con el fin de evaluar la frescura (Tabla 2).

Colorante sintético	Aplicación	Autor
Polianilina	Detección en tiempo real el deterioro del pescado observando un cambio de color de verde (producto fresco) a azul (producto en descomposición).	(Kuswandi et al., 2012)
Azul de bromofenol	Determinación de la calidad de pescado sierra (<i>Scomberomorus maculatus</i>).	(Sun et al., 2015)
Púrpura de bromocresol, verde de bromocresol y azul de bromotimol	Monitoreo de la frescura de pescado. Los tres colorantes tornaron de un color amarillento a colores violeta, verde y rojo, respectivamente.	(Kim et al., 2023)
Violeta de bromocresol	Monitoreo de leche. El cambio de color se da desde un tono azulado a amarillento.	(Magnaghi et al., 2022)
Rojo de metilo, anaranjado de metilo y verde de bromocresol	Monitoreo de filetes de bagre. Los indicadores pasaban de los colores rosado, rojo y amarillo a los colores amarillo, rosado y azul, respectivamente.	(Ningtyas et al., 2023)

Tabla 2. Ejemplos de uso de colorantes sintéticos como indicadores de pH en alimentos.

Sin embargo, los colorantes sintéticos sensibles al pH tienen limitaciones para su uso directo con alimentos, ya que pueden presentar evidentes efectos secundarios: su toxicidad a corto y largo plazo, sus posibles efectos cancerígenos, las reacciones alérgicas, especialmente en niños (hiperactividad similar al TDAH), y su capacidad para alterar los sistemas biológicos y el medio ambiente (Alizadeh-Sani *et al.* 2020).

Por esta razón, ha aumentado el interés en la implementación de tintes naturales y biopolímeros para la elaboración de películas colorimétricas, debido a que son biodegradables, no tóxicos y seguros para el contacto directo con el alimento, lo que las convierte en una opción idónea para su aplicación en envases inteligentes ya que ofrecen un desempeño funcional similar a los tintes sintéticos, pero con un menor impacto ambiental (Chen *et al.* 2020; Zhang *et al.* 2021).

Las antocianinas como indicadores de frescura

De entre las opciones de colorantes naturales se encuentran las antocianinas, las cuales son pigmentos naturales presentes en vegetales, frutas y flores. Las características químicas de las antocianinas las hacen sensibles a los cambios de pH mostrando variaciones de color en función de este. Además, ofrecen beneficios adicionales al contribuir en la conservación de los alimentos, por su alta actividad antioxidante protegen contra contaminantes, la oxidación de nutrientes y el crecimiento microbiano lo que las hace candidatas ideales a ser integradas a los envases como indicadores de frescura de los alimentos (Yong y Liu 2020; Zhao *et al.* 2022; Grana-dos-Balbuena *et al.* 2024; Ronte *et al.* 2025).

El color de las antocianinas se ve afectado por múltiples factores, incluyendo el pH, la temperatura, la copigmentación, la radiación UV y la presencia de oxígeno. Estas propiedades les permiten reaccionar ante cambios químicos en los alimentos, haciendo visible el grado de deterioro a través de una variación tonal (Stefani 2015).

Con respecto al pH (Figura 3); en medios ácidos con un pH inferior a 2 adoptan una coloración rojiza (catión flavilo), en medios neutros la coloración puede ser azulada (base quinoidal aniónica) y a medida que incrementa el pH la coloración se torna amarilla (chalcona) (Hasanah *et al.* 2023).

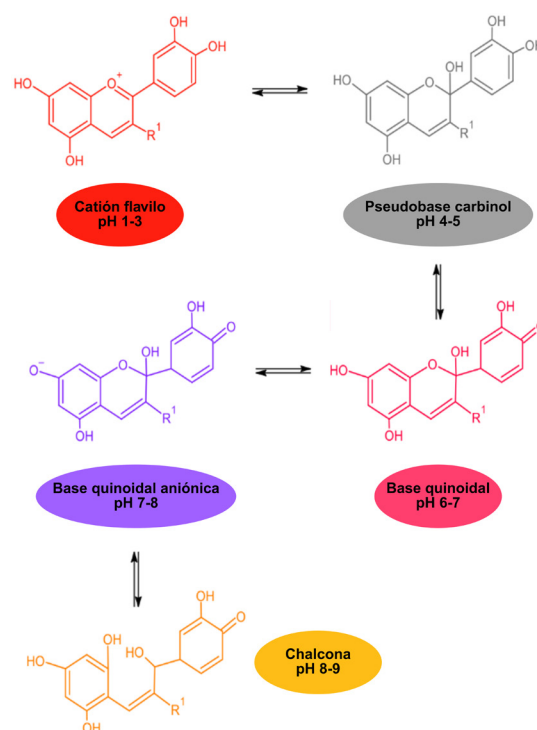


Figura 3. Transformaciones de las moléculas de antocianinas en distintos rangos de pH, así como su coloración característica. Adaptado de (Roy y Rhim 2021).



Esto debido a que no solo la delfinidina, una de las antocianidinas presentes en estos pigmentos sino las otras 5, pueden cambiar. Roy y Rhim 2021 mencionan que la delfinidina reacciona con aminas (productos del deterioro de alimentos perecederos), generando un cambio de color perceptible (Figura 4) cambiando de un color rojo (en condiciones acidas “frescas”) a morado-azul (en condiciones básicas “en descomposición”) debido a la formación del catión flavilio y la posterior desprotonación del mismo y a medida que el pH continúa elevándose, el color puede tornar hacia tonos verde-amarillo claro. Estas transiciones cromáticas se deben a procesos de tautomerización, en los que la estructura hemiacetal se convierte en cis-calcona y posteriormente en trans-calcona, como resultado de la pérdida del protón en el grupo hidroxilo unido al carbono 5 (C5-OH) (Granados-Balbuena *et al.*, 2024; Hasanah *et al.*, 2023). Estos cambios indican inmediatamente al consumidor el estado del producto sin abrir el envase (Peralta *et al.* 2019a; Roy y Rhim 2021; Yong y Liu 2020).

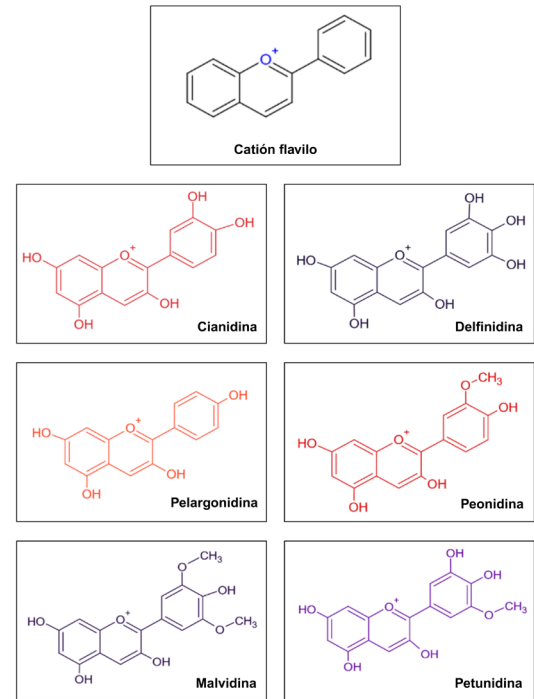


Figura 4. Catión flavilio y los seis tipos de antocianidinas con su coloración característica. Adaptado de (Roy y Rhim 2021).

Algunas de las formulaciones más comunes reportadas en la literatura se resumen en la (Tabla 3) para el desarrollo de biopelículas inteligentes, destacando la versatilidad de materiales y la incorporación de antocianinas como indicador de frescura.

Matriz polimérica principal	Componentes y sus concentraciones	Fuente de antocianina	Aplicación de Referencia
Quitosano	Quitosano (2%), Ácido cítrico (2%) y Glicerol (2%)	Maíz morado	Conservación de arándanos (Bustamante-Bernedo et al. 2025).
Gelatina/Alginato	Gelatina (2-4% p/v), Ácido cítrico (3%) y Glicerol (20%)	Cascara de cebolla morada	Monitoreo de frescura de leche (Devi et al. 2024).
Almidón/PVA	Almidón (1:10), PVA (1:10) y Ácido bórico (2.5%)	Col morada	Monitoreo de frescura de leche (Mustafa et al. 2020).
Gelatina/Quitosano	Gelatina (2 g), Quitosano (50%), Ácido acético (5%) y Ácido cítrico (7.5%)	Arándanos	Formulación experimental propuesta (Zhao et al. 2025).

Tabla 3. Ejemplos de formulaciones más comunes para el desarrollo de biopelículas inteligentes con antocianinas.

La tendencia actual de producir envases inteligentes que proporcionen información sobre la calidad de los alimentos es un avance en las tecnologías de conservación y seguridad alimentaria por su biodegradabilidad y uso de colorantes de origen natural que reaccionan ante los cambios en el pH de los productos que protegen (Rodríguez Saucedo *et al.* 2014).

Conclusiones

La preocupación actual del sector alimentario por la búsqueda de soluciones innovadoras para la determinación del estado de conservación de los productos perecederos ha dado paso a enfocarse en la fusión de dos alternativas viables: el desarrollo de envases biodegradables y la sustitución de colorantes sintéticos por sustitutos naturales.

Ambas alternativas responden a problemáticas ambientales como el impacto de materiales de un solo uso, y problemáticas de salud pública como lo son los efectos del consumo de colorantes sintéticos y la intoxicación alimentaria por consumo de comida degradada.

Es por ello por lo que la creación de biopelículas como matrices para la elaboración de envases biodegradables y la incorporación de antocianinas como indicadores naturales de pH a dichas matrices ha entregado al sector una solución clave para la elaboración de envases con un alto valor agregado y utilidad para los consumidores.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaría de Innovación y Posgrado por la aprobación y financiamiento del proyecto 2025-A338 de la convocatoria de "Proyectos de desarrollo tecnológico o innovación del IPN, dirigido a alumnas y alumnos del Instituto".



BIOPELÍCULAS Y PIGMENTOS EN LA CONSERVACIÓN INTELIGENTE DE ALIMENTOS

Referencias

- Alizadeh-Sani M, Mohammadian E, Rhim J-W, Jafari SM (2020) pH-sensitive (halochromic) smart packaging films based on natural food colorants for the monitoring of food quality and safety. *Trends Food Sci Technol* 105:93–144.
- Arora, R., Haleem, R., Agarwal, A., Shukla, S.K., 2025. Development and characterization of pea hull reinforced polyvinyl alcohol film for active packaging of chicken meatballs. *Food Chem* 484, 144322. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144322>
- Bustamante-Bernedo MS, Félix LL, Gutiérrez-Pineda E, et al (2025) Development of antioxidant films based on anthocyanin microcapsules extracted from purple corn cob and incorporated into a chitosan matrix. *Int J Biol Macromol* 284:137658.
- Chen H, Zhang M, Bhandari B, Yang C (2020) Novel pH-sensitive films containing curcumin and anthocyanins to monitor fish freshness. *Food Hydrocoll* 100:105438.
- Chirilli C, Torri L (2023) Effect of Biobased Cling Films on Cheese Quality: Color and Aroma Analysis for Sustainable Food Packaging. *Foods* 12:3672.
- Choi I, Lee JY, Lacroix M, Han J (2017) Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. *Food Chem* 218:122–128.
- Granados-Balbuena, S.Y., Chicatto-Gasperin, V., Santacruz-Juárez, E., Ocaranza-Sánchez, E., Ramírez-López, C., García-Meza, M.G., Tapia-López, L., Torre, R.R.R. de la, López, M.R.R., 2024. Patented technologies in the extraction, preservation, and application of anthocyanins in food: A review. *Applied Food Research* 4, 100388. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100388>
- Hailu, G.T., 2025. Trends on functional properties improvement of emerging mucilage-based films for food packaging application -A review. *Hybrid Advances*. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2025.100453>
- Hasanah NN, Mohamad Azman EM, Rozzami A, et al (2023) A Systematic Review of Butterfly Pea Flower (*Clitoria ternatea* L.): Extraction and Application as a Food Freshness pH-Indicator for Polymer-Based Intelligent Packaging. *Polymers (Basel)* 15:2541.
- Jones MP, Archodoulaki V-M, Köck B-M (2022) The power of good decisions: Promoting eco-informed design attitudes in plastic selection and use. *Resour Conserv Recycl* 182:106324.
- Katsara K, Kenanakis G, Viskadourakis Z, Papadakis VM (2021) Polyethylene Migration from Food Packaging on Cheese Detected by Raman and Infrared (ATR/FT-IR) Spectroscopy. *Materials* 14:3872.
- Kim D-Y, Park S-W, Shin H-S (2023) Fish Freshness Indicator for Sensing Fish Quality during Storage. *Foods* 12:1801.
- Kuswandi B, Jayus, Restyana A, et al (2012) A novel colorimetric food package label for fish spoilage based on polyaniline film. *Food Control* 25:184–189.
- Liang J, Tian W, Gao F, et al (2025) Silver nanowire-tungsten oxide hybrids: Rapid-kinetic amine sensor for food freshness monitoring. *Sens Actuators B Chem* 444:138394.
- Magnaghi LR, Zanoni C, Alberti G, et al (2022) Towards intelligent packaging: BCP-EVOH@ optode for milk freshness measurement. *Talanta* 241:123230.
- Niccolai, E., Colzi, I., Amedei, A., 2023. Adverse Effects of Micro- and Nanoplastics on Humans and the Environment. *Int J Mol Sci* 24, 15822. <https://doi.org/10.3390/ijms242115822>
- Ningtyas R, Jayarachman MN, Imam S, Muryeti (2023) The Use of Colour Indicator as a Smart Packaging for Monitoring Spoilage Fillet Catin Fish (*Pangasius* Sp.) In Room Temperature. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 1177:012048.
- Operato, L., Panzeri, A., Masoero, G., Gallo, A., Gomes, L., Hamd, W., 2025. Food packaging use and post-consumer plastic waste management: a comprehensive review. *Frontiers in Food Science and Technology* 5. <https://doi.org/10.3389/frfst.2025.1520532>
- Pacquit A, Frisby J, Diamond D, et al (2007) Development of a smart packaging for the monitoring of fish spoilage. *Food Chem* 102:466–470.
- Peralta J, Bitencourt-Cervi CM, Maciel VB, et al (2019) Aqueous hibiscus extract as a potential natural pH indicator incorporated in natural polymeric films. *Food Packag Shelf Life* 19:47–55.
- Qin Y, Liu Y, Yong H, et al (2019) Preparation and characterization of active and intelligent packaging films based on cassava starch and anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. *Int J Biol Macromol* 134:80–90.
- Rodríguez Saucedo R, Rojo Martínez GE, Martínez Ruiz R, et al (2014) Envases inteligentes para la conservación de alimentos. *Ra Ximhai* 151–174.
- Ronte, A., Chalitangkoon, J., Sintoppun, T., Niemhom, N., Manapadit, N., Munpiriyakul, P., Foster, E.J., Monvisade, P., 2025. Advanced chitosan hybrid dye labels for dynamic monitoring of shrimp and milk freshness. *Int J Biol Macromol* 302. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140652>
- Roy S, Rhim J-W (2021) Anthocyanin food colorant and its application in pH-responsive color change indicator films. *Crit Rev Food Sci Nutr* 61:2297–2325.
- Solano-Doblado LG, Alamilla-Beltrán L, Jiménez-Martínez C (2018) Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 21:30–42.
- Song, A., Wu, Y., Li, C., 2025. Development and application of a time-temperature hydroxyethyl cellulose ink based on *Clitoria ternatea* L. blue petals anthocyanin and N-Hydroxyphthalimide for food freshness monitoring. *International Journal of Biological Macromolecules* 299. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140060>
- Stefani, R., 2015. Development and Evaluation of a Smart Packaging for the Monitoring

of Ricotta Cheese Spoilage. *MOJ Food Processing & Technology* 1. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2015.01.00004>

Sun W, Li H, Wang H, et al (2015) Sensitivity enhancement of pH indicator and its application in the evaluation of fish freshness. *Talanta* 143:127-131.

Teixeira SC, de Oliveira TV, de Fátima Ferreira Soares N, Raymundo-Pereira PA (2025) Sustainable and biodegradable polymer packaging: Perspectives, challenges, and opportunities. *Food Chem* 470:142652.

Wu X, Yan X, Zhang J, et al (2024) Preparation and characterization of pH-sensitive intelligent packaging films based on cassava starch/polyvinyl alcohol matrices containing Aronia melanocarpa anthocyanins. *LWT* 194:115818.

Wu, Y., Song, A., Li, C., 2025. An intelligent bilayer film based on blue honeysuckle berries and *Artemisia Sphaerocephala* Krasch. Gum for *Cyprinus carpio* preservation and indication. *International Journal of Biological Macromolecules* 300, 140329. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.140329>

Yildirim S, Röcker B, Pettersen MK, et al (2018) Active Packaging Applications for Food. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 17:165-199. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322>

Yong H, Liu J (2020) Recent advances in the preparation, physical and functional properties, and applications of anthocyanins-based active and intelligent packaging films. *Food Packag Shelf Life* 26:100550.

Zhang A-Q, He J-L, Wang Y, et al (2021) Whey protein isolate modified with sodium tripolyphosphate gel: A novel pH-sensitive system for controlled release of *Lactobacillus plantarum*. *Food Hydrocoll* 120:106924.

Zhang W, Liu W, Qi X, et al (2025) Natural pigment-based smart packaging films for real-time food spoilage monitoring: Compositions, color-changing mechanisms, applications, and challenges. *Food Packag Shelf Life* 49:101484.

Zhao H, Liu W, Min C, et al (2025) pH-responsive color indicator film based on gelatin/chitosan cross-linking with anthocyanin-Fe²⁺ chelate for pork freshness monitoring. *Food Hydrocoll* 162:110895.

Zhao L, Liu Y, Zhao L, Wang Y (2022) Anthocyanin-based pH-sensitive smart packaging films for monitoring food freshness. *J Agric Food Res* 9:100340.

Zhao, J., Yang, F., Fang, X., Liu, M., Sun, Y., Gu, L., 2025. Preparation, characterization of algae polyphenol-polysaccharide composite films and application in chilled porcine longissimus lumborum packaging. *Meat Sci* 225, 109801. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2025.109801>





Flores amarillas endémicas del estado de Tlaxcala: Usos y posibles aplicaciones como colorantes naturales

Cante Ruiz Daniel¹, Anguiano Plata Lucía Yaneli¹, Perez Chavez Osmar¹, Lilia Tapia-López², Díaz Pacheco Adrian¹, Granados Balbuena Sulem Yali¹

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Tlaxcala del Instituto Politécnico Nacional, Guillermo Valle 11, C.P. 90000, Tlaxcala de Xicohténcatl, Tlaxcala, México.

²Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional, Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla, km 1.5, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, C.P. 90700, México.

Autor de correspondencia: sgranadosb@ipn.mx

Resumen

El color amarillo posee gran relevancia, tanto estética como funcional, debido a su asociación con la vitalidad y su uso extendido en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. En la actualidad, se buscan alternativas naturales a los colorantes amarillo sintéticos, como el Amarillo 6 (Amarillo ocaso), Amarillo 5 (Tartrazina) y Amarillo 4 (Amarillo Oleo), los cuales se han relacionado con reacciones alérgicas, irritación gastrointestinal y, con posibles efectos tóxicos y carcinogénicos. Ante esta problemática, ha surgido un creciente interés por identificar fuentes seguras y sostenibles de pigmentos amarillos naturales, particularmente aquellas derivadas de flores. El estado de Tlaxcala destaca por su amplia diversidad floral con tonalidades amarillas, entre las que se encuentran el mirasol (*Cosmos bipinnatus*), el cempasúchil (*Tagetes erecta*), el árnica mexicana (*Heterotheca inuloides*), la mano de león (*Roldana platanifolia*) y la rosilla (*Bidens ferulifolia*). Estas especies, consideradas benéficas a la salud, son ricas en compuestos bioactivos como carotenoides, flavonoides, ácidos fenólicos y terpenoides. En esta revisión se aborda la botánica de dichas flores, la naturaleza de sus pigmentos y los compuestos responsables de sus propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas y neuroprotectoras, que podrían posicionarlas como prometedoras fuentes de colorantes naturales para aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética.

Palabras clave: flores amarillas, Tlaxcala, carotenoides, flavonoides, colorante natural.



Abstract

The colour yellow is highly significant, both aesthetically and functionally, due to its association with vitality and energy and its widespread use in the food, cosmetics and pharmaceutical industries. Currently, natural alternatives are being sought to synthetic yellow colourings, such as Yellow 6 (Sunset Yellow), Yellow 5 (Tartrazine) and Yellow 4 (Oleo Yellow), which have been linked to allergic reactions and hyperactivity in children, gastrointestinal irritation and, in some cases, possible toxic and carcinogenic effects. In response to this problem, there has been growing interest in identifying safe and sustainable sources of natural yellow pigments, particularly those derived from flowers. The state of Tlaxcala is notable for its wide floral diversity with yellow hues, including cosmos (*Cosmos bipinnatus*), marigold (*Tagetes erecta*), Mexican arnica (*Heterotheca inuloides*), lion's paw (*Roldana platanifolia*) and rosilla (*Bidens ferulifolia*). These species, considered beneficial to health, are rich in bioactive compounds such as carotenoids, flavonoids, phenolic acids, and terpenoids. This review addresses the botany of these flowers, the nature of their pigments, and the compounds responsible for their anti-inflammatory, anti-cancer, and neuroprotective properties, which could position them as promising sources of natural colourants for applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries.

Keywords: yellow flowers, Tlaxcala, carotenoids, flavonoids, natural dye.



Introducción

Tlaxcala cuenta con una extensión territorial de 3,997 km², y el 17% de su territorio está cubierta por bosques templados, pastizales y matorrales, que sirven de hábitat a diferentes especies de animales, plantas y hongos. Adicionalmente, Tlaxcala es el hogar de 1297 especies de plantas vasculares, en 503 géneros y 119 familias (Castañeda *et al.* 2023).

Muchas especies florales presentan una amplia variedad de colores debido a la presencia de pigmentos naturales, los cuales desempeñan un papel esencial en la biología floral, y en la protección de los tejidos florales frente a la radiación ultravioleta y el estrés oxidativo (Miller *et al.* 2011).

Entre los principales pigmentos naturales presentes en las flores se encuentran las antocianinas (500 - 550 nm), responsables de los tonos rojo, púrpura y azul; las betalainas (480 - 540 nm), que van del rojo a rosado; la clorofila (400 - 700 nm), que aporta tonalidades verdes; los carotenoides (400 - 500 nm), asociados a tonos amarillos y anaranjados; y las chalconas, flavonas y flavonoles, generalmente incoloros, aunque ciertos derivados pueden producir matices amarillos (Miller *et al.* 2011).

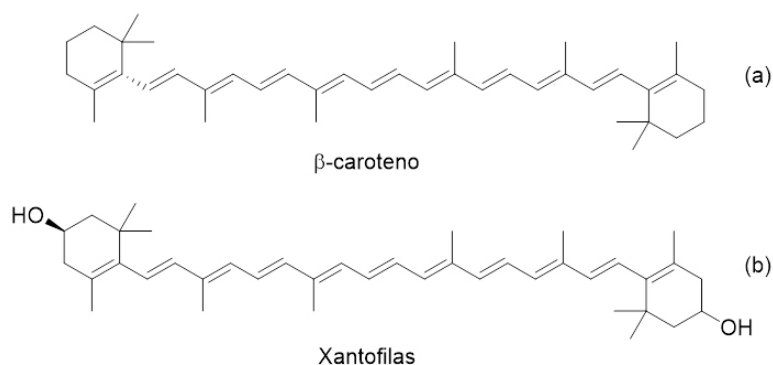


Figura 1. Carotenos: β-caroteno (A) y xantofilas, luteína (B). Recuperado de ChemSpider.

Entre la variedad de flores amarillas existentes en el estado Tlaxcala se encuentran plantas como *Cosmos sulphureus* (Cosmos amarillo), *Tagetes erecta* L. (Cempasúchil), *Heterotheca inuloides* Cass. (Árnica mexicana), *Roldana platanifolia* (Mano de león), Rosilla (*Bidens ferulifolia* (Jacq.) DC.) y *Barkleyanthus salicifolius* (Escobilla, hierba del carbonero) (Lourdes *et al.* 2006).

Diversos estudios han asociado los colorantes artificiales con efectos adversos a la salud, incluyendo reacciones alérgicas, alteraciones gastrointestinales, hiperactividad infantil, citotoxicidad y un posible potencial carcinogénico. Esto ha aumentado el interés por el uso de colorantes amarillos de origen natural.

Debido a lo anterior, el objetivo del presente artículo es analizar el potencial de algunas flores amarillas endémicas del estado de Tlaxcala como fuente de pigmentos naturales, así como explorar su composición química.

Flores amarillas endémicas del estado de Tlaxcala

Tlaxcala es un estado que posee alrededor de 404 especies florales (Fernández y López 2006). Dentro de esta diversidad destacan flores de tonos rojos como una especie de la Flor Nacional de México: la flor de *Dahlia coccinea* Cav. (Dahlia) u otras como *Castilleja tenuiflora* Benth. (Cola de borrego), (Lourdes *et al.*, 2006). También se encuentran flores de color morado, como la *Jacaranda mimosifolia* (Jacaranda), y *Salvia* spp. (Salvia); de color blanco, *Plumeria rubra* (Flor de Mayo), y *Hymenocallis harrisiana* Herb. (Araña). Dentro de los tonos naranja se encuentran especies como *Tropaeolum majus* L. (Capuchina), y *Tagetes lunulata* Ort. (Cocoyaton).

Finalmente, dentro de los tonos amarillo se hallan flores como *Buddleia cordata* (Tepozán), *Senecio sinuatus* (Hediondilla), *Cosmos bipinnatus* Cav. (Mirasol), *Baccharis conferta* (Escobilla), *Tagetes erecta* L. (Cempasúchil), *Heterotheca inuloides* Cass. (Árnica mexicana), *Senecio cinerarioides* (Rosa de San Juan), *Senecio mairertianus* (Jarilla), *Sisyrinchium bracteatum* (Zacate de muela), *Potentilla ranunculoides* (Potentilla rastrera), *Tagetes lucida* Cav. (Pericón) (Lourdes *et al.* 2006), algunas de las cuales se comentarán en la presente revisión.

Cosmos sulphureus (Cosmos amarillo)

Cosmos sulphureus o mayormente conocida como "cosmos amarillo" o "cosmos azufrado", es una flor nativa de México y América Central (Barros *et al.* 2022). Esta especie es comúnmente usada como planta ornamental o en la medicina herbal tradicional (Ortega *et al.* 2023). Dentro de este género, *Cosmos sulphureus* se caracteriza por una gama de tonalidades que abarcan del amarillo al anaranjado (Figura 2) (Hutabarat *et al.* 2016).



Figura 2. Flor de *Cosmos sulphureus*.



Además de su valor ornamental, *Cosmos sulphureus* contiene propiedades medicinales entre ellas; actividad antioxidante, que ayuda a neutralizar radicales libres dañinos en el organismo (Ortega *et al.* 2023); efectos hepatoprotectores (Islam *et al.* 2024); así como actividad antiinflamatoria y antimicrobiana.

Fitoquímicamente, *Cosmos sulphureus* presenta diversos compuestos bioactivos que incluyen; terpenoides (Germacrene A, fitol) y taninos contribuyendo a sus efectos antiinflamatorios y antimicrobianos; flavonoides (rutina, quercetina) y compuesto fenólicos (ácido clorogénico, ácido cafeico) por su fuerte actividad antioxidante reduciendo el estrés oxidativo (Ortega *et al.* 2023); y, por último, carotenoides (luteína) que además de sus beneficios a la salud, como son la protección del sistema inmune y la salud ocular, también aporta su color característico amarillo-anaranjado (Figura 2) (Tang *et al.* 2025).

Varios estudios exploran el potencial del uso de *Cosmos sulphureus* como fuente de amarillos en alimentos. Un estudio sobre recubrimientos comestibles enriquecidos con microcápsulas de extracto de *Cosmos sulphureus* encontró que dicho extracto aportó efectos antioxidantes, mejorando la vida de anaquel y la calidad sensorial de los alimentos. Ortega (2023), confirma la presencia de cromóforos responsables de tonalidades amarillas estables y reporta buenos rendimientos de extracción y actividad antioxidante, lo que respalda su uso como colorante natural. Finalmente, revisiones sobre colorantes naturales señalan a esta flor como una fuente prometedora de pigmentos amarillos seguros y estables, capaces de sustituir colorantes sintéticos (Luzardo *et al.* 2021).

***Tagetes erecta* L. (Cempasúchil)**

Tagetes erecta L. comúnmente conocido como “Cempoal”, o “flor de muerto”, es una flor nativa de México. cuya altura puede llegar hasta 1.8 metros, es una planta erecta, que tiene tallo estriado, a veces acostillado, glabro o pubescente, con hojas de hasta 20 cm de largo, pinnadas (Figura 3).



Figura 3. Flor de Cempasúchil.

Además de sus usos ornamentales, en la medicina se emplea para contrarrestar trastornos gastrointestinales como diarrea y cólicos, también se utiliza como producto complementario al alimento de aves de corral y como colorante alimenticio en productos como carnes (pollo), suplementos nutricionales y cosméticos.

Diversos estudios han reportado que la flor de cempasúchil presenta actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana, asociada a la presencia de compuestos polifenólicos, como derivados de los ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinámico, flavonoles (especialmente glucósidos de quercetagina) y diversas agliconas (quercetina y patuletina). Además, suele usarse para la extracción de luteína (Figura 4) un carotenoide que proporciona el color característico de sus pétalos (Burlec *et al.* 2021).

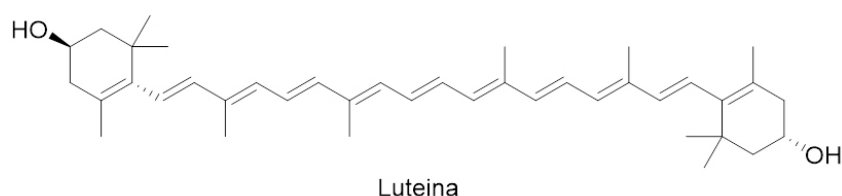


Figura 4. Luteína. Recuperado de ChemSpider.

Diversos estudios, han centrado sus investigaciones en buscar un método para optimizar los rendimientos del pigmento. Por ejemplo, Manzoor *et al.* (2022) investigaron el uso de aceite de girasol como disolvente de extracción, evaluando diferentes relaciones sólido-líquido y utilizando la extracción asistida por ultrasonido. El estudio demostró que la utilización de aceite vegetal no solo mejoró el rendimiento de luteína en comparación con los métodos de extracción convencionales, sino que también preservó las propiedades funcionales del pigmento (Manzoor *et al.* 2022).

***Heterotheca inuloides* Cass. (Árnica mexicana)**

El árnica mexicana, es una planta perenne, herbácea y de crecimiento vertical de hasta 1.5 m de altura (Figura 5) (Lourdes *et al.* 2006).

En la medicina tradicional mexicana, se considera que *H. inuloides* tiene propiedades humorales, por medio de preparados como té, e infusiones que se han utilizado principalmente como agentes antiinflamatorios y analgésicos (Rodríguez *et al.* 2016).

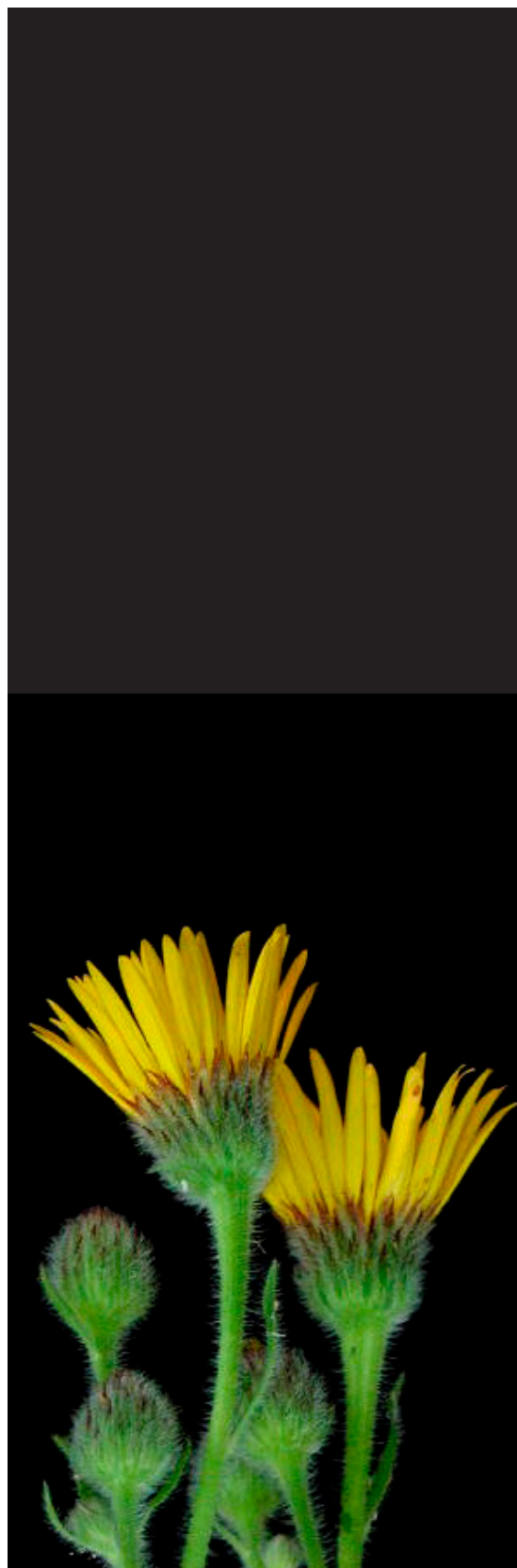


Figura 5. *Heterotheca inuloides* Cass.

Sus compuestos activos son los que le confieren las propiedades medicinales y aromáticas. Estos compuestos están conformados por metabolitos secundarios, mayormente de compuestos fenólicos que son utilizados por la planta contra daño oxidativo y flavonoides que le otorga protección contra patógenos (Nieto *et al.* 2018).

El análisis de sus partes aéreas permitió aislar compuestos como el 7-hidroxicadalenol, el cadalenol, el 4-metoxiisocadalenol, el calacoreno, etc. (Rodríguez *et al.* 2016). De las flores secas se han aislado aglicones y glucósidos (Figura 6) como la luteolina, kaempferol, kaempferol-3,7-dimetil éter, 6-metoxikaempferol-3,7-dimetil éter, quercetina, catequina, entre otros.

El aislamiento y la purificación de estos compuestos se llevó a cabo utilizando diversas técnicas (cromatografía en columna abierta, cromatografía en capa fina, HPLC, etc.) (Rodríguez *et al.* 2016).

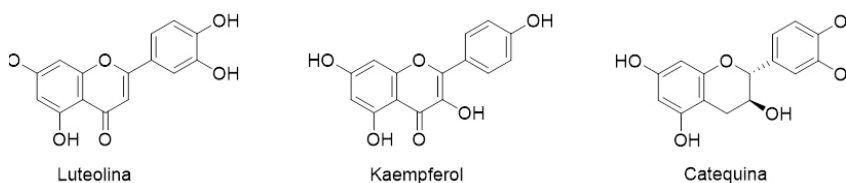


Figura 6. Luteolina $C_{15}H_{10}O_6$ (A), Kaempferol $(C_{15}H_{10}O_6)$ (B) y Catequina $(C_{15}H_{14}O_6)$ (C).

Roldana platanifolia (vv)

Roldana platanifolia o Mano de león, perteneciente al género *Roldana*, es una especie nativa de México, la cual presenta tallos estriado-pilosos y huecos y una altura aproximada de 70 cm (Figura 7) (Lourdes *et al.* 2006).

El género *Roldana* contiene principalmente sesquiterpenos de tipo eremofilano, mientras que oplopanos, plastoquinonas y flavonoides en pequeñas cantidades. El análisis químico de las partes aéreas revela la presencia de estigmasterol, *b*-cariofileno 8R,9R-óxido, tsoongianólidos A, B y D, ligularenólido, ácido clorogénico, *b*-sitosteril glucopiranosido (Figura 8), atribuyéndole sus efectos antiinflamatorios, propiedades antiartríticas, entre otras (Arciniegas *et al.* 2015).

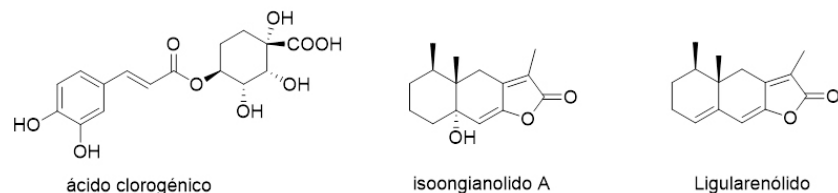


Figura 8. Ácido clorogénico $C_{16}H_{18}O_9$ (A), Ligularenólido $(C_{17}H_{20}O_4)$ (B) y Estigmasterol $(C_{29}H_{48}O)$ (C).



Figura 7. *Roldana platanifolia*.

Bidens ferulifolia (Jacq.) DC. (Rosilla)

La Rosilla, es una planta erecta, cuyo tamaño puede ser entre 30 cm a 2.5 m, su tallo es más o menos tetragono, glabro o algo pubescente y comúnmente ramificado (Figura 9).



Figura 9. *Bidens ferulifolia* (Jacq.)

Algunos estudios indican la presencia de cuatro clases de colorantes principales, los cuales incluyen; antocloros, flavonas, antocianinas y carotenoides. A su vez en la clasificación de antocloros y chalconas se identificó la okanina y la buteína, mientras que para antocianinas y carotenoides se determinó la presencia de cianidinas y luteolina respectivamente (Figura 10) (Walliser *et al.* 2022).

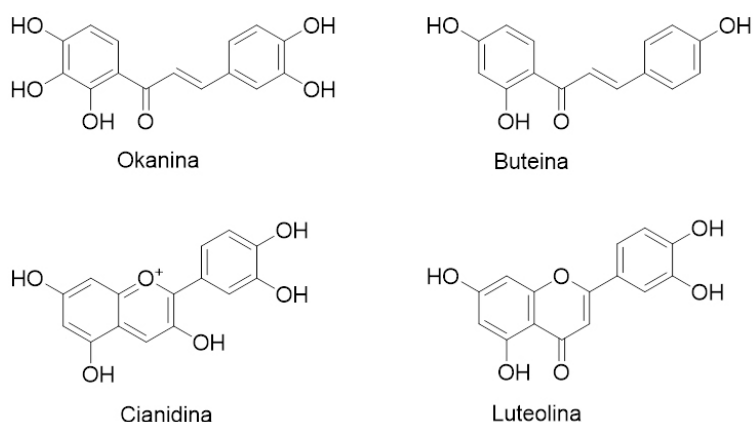


Figura 10. Okanina ($C_{15}H_{12}O_6$) (A), Buteína ($C_{15}H_{12}O_5$) (B), Cianidina ($C_{15}H_{11}O_6$) (C) y Luteolina ($C_{15}H_{10}O_6$) (D).

Tagetes lucida Cav. (Pericón)

Tagetes lucida (Pericón) conocida también como “hierbanís”, “jericón”, o “flor de Santa María”. Su tamaño puede ser de hasta 80 cm de alto, con tallos más o menos ramificados y glabros. Al ser estrujada libera un olor a anís y tiene diversos usos, como: ornamentales; en té como tónico para el tratamiento de diversos padecimientos, entre ellos la diarrea, la disentería, el vómito, el asma, la fiebre tifoidea, las varices y el resfriado; como condimento de elotes y chayotes; como insecticida; y con fines ceremoniales y religiosos (Figura 11).

Tagetes Lucida posee compuestos flavonoides como la quercetagetina, quercetina y patuleina, además de algunos ácidos orgánicos como ácido gálico, ácido tartárico y ácido cafeico (Figura 12) (Villa *et al.* 2020).



Figura 11. *Tagetes Lucida* Cav.

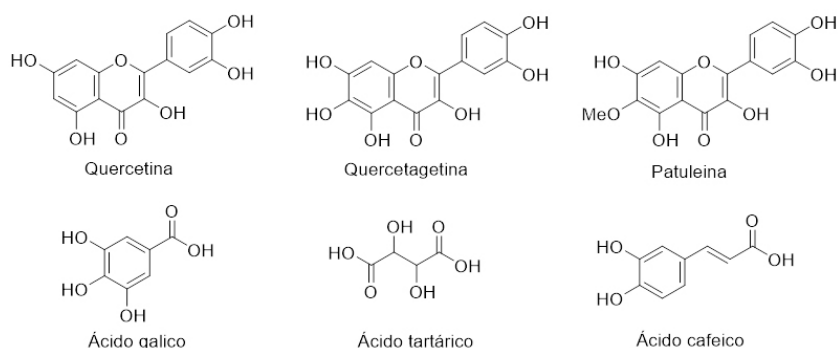


Figura 12. Quercetagetina $C_{15}H_{10}O_9$ (A), Quercetina ($C_{15}H_{10}O_9$) (B), Patuleina ($C_{16}H_{10}O_8$) (C), Ácido gálico $C_7H_6O_5$ (D), Ácido tartárico ($C_4H_6O_6$) (E) y Ácido cafeico ($C_9H_8O_4$) (F).

Aplicaciones como colorantes naturales

Los colorantes han acompañado a la humanidad desde sus orígenes, cuando se obtenían de materiales naturales como tierras, plantas y minerales con fines decorativos, rituales y textiles; con el desarrollo de las sociedades, la necesidad de una mayor diversidad cromática impulsó nuevas fuentes y técnicas de extracción, sentando las bases de la industria textil medieval (Ardila *et al.* 2021). Este escenario cambió en 1854 con la introducción de los colorantes sintéticos tras la síntesis de la malveína por Henry Perkin, cuyo bajo costo permitió su rápida expansión y amplio uso industrial.

Destacando su aplicación en el sector alimenticio, en donde no solo cumplen una función estética, sino que también contribuyen a la preservación y restauración del color original ante el deterioro provocado por variaciones de temperatura (Wong 2018).

No obstante, diversas organizaciones como la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (AESA) ha vinculado el uso de colorantes artificiales con el aumento de enfermedades como el cáncer y problemas gastrointestinales (Molina *et al.* 2023).

Por ejemplo, para el colorante artificial Tartrazina, en un estudio realizado por Khayyat *et al.* (2017) donde se utilizaron veinte ratas albinas Wistar macho adultas. Los resultados revelaron aberraciones estructurales significativas en el hígado y riñón, además de daño al ADN en leucocitos de las ratas tratadas con tartrazina, en comparación con los controles.

En este sentido, la búsqueda de alternativas más seguras se ha dirigido hacia los colorantes naturales, que destacan no solo por proporcionar propiedades farmacológicas y bioactivas, sino también por representar una excelente alternativa al ser biodegradables, renovables y respetuosos con el medio ambiente (Negi 2025).

Bajo este contexto, las plantas endémicas del estado de Tlaxcala adquieren relevancia como potenciales fuentes de colorantes naturales, principalmente en tonalidades amarillas, ya que, presentan dentro de su composición compuestos bioactivos de gran relevancia, entre los que destacan flavonoides, carotenoides, ácidos fenólicos y terpenoides. Los flavonoides son reconocidos por sus propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas, cardioprotectoras, y antivirales, además de ser considerados indispensables en

aplicaciones farmacéuticas y cosméticas (Panche *et al.* 2016).

Por su parte, los carotenoides sirven como precursores de vitamina A, fortalecen el sistema inmunitario, se encuentran ampliamente vinculados con la salud y el envejecimiento (Amengual 2019). Asimismo, los ácidos fenólicos destacan por su capacidad para controlar los procesos de señalización celular durante la inflamación (Al Jitan *et al.* 2018).

Finalmente, los terpenoides poseen propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y analgésicas gracias a la actividad de monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, triterpenos, tetraterpenos y compuestos glucósidos (Paduch *et al.* 2007).

Diversas fuentes vegetales han demostrado un alto potencial como colorantes naturales debido a su contenido de compuestos bioactivos. *Curcuma longa* destaca por la presencia de curcumina, un colorante natural aprobado por la FAO con aplicaciones en el teñido textil y como conservante alimenticio. Asimismo, estudios han identificado a *Tagetes erecta* y *Tagetes lucida* como fuentes relevantes de colorantes naturales gracias a su contenido de luteolina, flavonoides y carotenoides, con aplicaciones tanto textiles como en la medicina tradicional. Otras especies como *Cosmos sulphureus*, *Heterotheca inuloides* Cass., *Roldana platanifolia* y *Bidens ferulifolia* también han sido señaladas como candidatas para el aprovechamiento y desarrollo de nuevos colorantes naturales (Melo *et al.* 2025).



Conclusión

El análisis del uso de colorantes a lo largo de la historia evidencia una transición desde el empleo de pigmentos naturales hacia el uso masivo de colorantes sintéticos, impulsado principalmente por su bajo costo y estabilidad. Sin embargo, la evidencia científica que relaciona a diversos colorantes artificiales con efectos adversos en la salud ha motivado la búsqueda de alternativas más seguras y sostenibles. En este contexto, el aprovechamiento de flores y plantas endémicas del estado de Tlaxcala representa una oportunidad relevante para el desarrollo de colorantes naturales, no solo por su capacidad cromática, sino también por su conte-

nido de compuestos bioactivos con propiedades benéficas para la salud y el medio ambiente. De esta manera, el uso de colorantes naturales a partir de flores de Tlaxcala se perfila como una estrategia viable para sustituir colorantes sintéticos, fomentando prácticas más sostenibles y valorizando la biodiversidad regional.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional y a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, Campus Tlaxcala, por la formación académica y las oportunidades brindadas para el desarrollo como ingenieros biotecnólogos y en la realización del presente artículo.

Flores amarillas endémicas del estado de Tlaxcala: Usos y posibles aplicaciones como colorantes naturales

Referencias

- Al Jitan S, Alkhoori SA, Yousef LF (2018) Phenolic acids from plants: Extraction and application to human health. En *Studies in Natural Products Chemistry* (pp. 389–417). Elsevier.
- Amengua J (2019) Bioactive properties of carotenoids in human health. *Nutrients*, 11(10), 2388. <https://doi.org/10.3390/nu11102388>
- Ardila LD, Poutou RA, Pedroza AM, Quevedo BE (2021) A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(13), 3813. <https://doi.org/10.3390/molecules26133813>
- Barros AP, Carvalho SA, Souza AC, Ricalde MP, Ataíde JO (2022) Effect of *Cosmos*, *Crotalaria*, *Foeniculum*, and *Canavalia* species, single-cropped or mixes, on the community of predatory arthropods. *Scientific Reports*, 12(1), 16013. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20188-6>
- Burlec AF, Pecio L, Kozachok S, Mircea C, Corciovă A, Vereștiuc L, Cioancă O, Oleszek W, Hăncianu M (2021) Phytochemical Profile, Antioxidant Activity, and Cytotoxicity Assessment of *Tagetes erecta* L. Flowers. *Molecules*, 26(5), 1201. <https://doi.org/10.3390/molecules26051201>
- Castañeda S, Granados RL, Sánchez A (2023) Contribución al conocimiento de las licofitas y los helechos de España, Tlaxcala, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(1). <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3123>
- Hutabarat OS, Flachowsky H, Regos I, Miosic S, Kaufmann C, Faramarzi S, Alam MZ, Gosch C, Peil A, Richter K, Hanke MV, Treutter D, Stich K, Halbwirth H (2016) Transgenic apple plants overexpressing the chalcone 3-hydroxylase gene of *Cosmos sulphureus* show increased levels of 3-hydroxyphloridzin and reduced susceptibility to apple scab and fire blight. *Planta*, 243(5), 1213–1224. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2475-9>
- Islam S, Nargis R, Qais N (2024) Medicinal herbs and their metabolites with biological potential to protect and combat liver toxicity and its disorders: A review. *Heliyon*, 10(3), e25340. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25340>
- Lourdes VR, García FR, Lezama PT (2006) Guía botánica del Parque



Nacional Malinche. Tlaxcala-Puebla. UNAM.

Luzardo I, Ramírez AK, Yañez J, Mojica L, Luna DA (2021) Technological Applications of Natural Colorants in Food Systems: A Review. *Foods* (Basel, Switzerland), 10(3), 634. <https://doi.org/10.3390/foods10030634>

Manzoor S, Rashid R, Panda BP, Sharma V, Azhar M (2022) Green extraction of lutein from marigold flower petals, process optimization and its potential to improve the oxidative stability of sunflower oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 85, 105994. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105994>

Melo B, Vilela O, Santos S, Mendes GR, Schwan CL, Aliaño MJ, Fernández G, Murowaniecki D (2025) Potential of new plant sources as raw materials for obtaining natural pigments/dyes. *Agronomy* (Basel, Switzerland), 15(2), 405. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020405>

Miller R, Owens SJ, Rørslett B (2011) *Plants and colour: Flowers and pollination*. Optics & Laser

Technology, 43(2), 282–294. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2008.12.018>

Molina AK, Corrêa RCG, Prieto MA, Pereira C, Barros L (2023) Bioactive natural pigments' extraction, isolation, and stability in food applications. *Molecules* (Basel, Switzerland), 28(3), 1200. <https://doi.org/10.3390/molecules28031200>

Negi A (2025) Natural dyes and pigments: Sustainable applications and future scope. *Sustainable Chemistry*, 6(3), 23. <https://doi.org/10.3390/suschem6030023>

Nieto MI, García JF, Caltzontzin V, Chávez R, Estrada M de la L (2018) Efecto de las condiciones de cultivo en la producción de fenoles, flavonoides totales y su capacidad antioxidante en el árnica (*Heterotheca inuloides*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 21, 4296–4305. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1530>

Ortega RJ, Ceja LF, Vázquez M, Martínez GCG, Medina JR (2023) Characterization

of *Cosmos sulphureus* Cav. (*Asteraceae*): Phytochemical Screening, Antioxidant Activity and Chromatography Analysis. *Plants* (Basel, Switzerland), 12(4), 896. <https://doi.org/10.3390/plants12040896>

Paduch R, Kandefer M, Trytek M, Fiedurek J (2007) Terpenes: substances useful in human healthcare. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 55(5), 315–327. <https://doi.org/10.1007/s00005-007-0039-1>

Panche AN, Diwan AD, Chandra SR (2016) Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*, 5(e47), e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>

Rodríguez JL, Egas V, Linares E, Bye R, Hernández T, Espinosa FJ, Delgado G (2016) Mexican Arnica (*Heterotheca inuloides* Cass. *Asteraceae*: *Astereae*): Ethnomedical uses, chemical constituents and biological properties. *Journal of Ethnopharmacology*, 195, 39–63. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.11.021>

Tang Q, Li Z, Chen N, Luo X, Zhao Q (2025) Natural pigments derived from plants and microorganisms: classification, biosynthesis, and applications. *Plant Biotechnology Journal*, 23(2), 592–614. <https://doi.org/10.1111/pbi.14522>

Villa PY, Iliná A, Ascacio JA, Esparza SC, Cobos LE, Rodríguez R, Silva SY (2020) Phenolic compounds of *Tagetes lucida* Cav. with antibacterial effect due to membrane damage. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 19(6), 580–590. <https://doi.org/10.37360/blacpma.20.19.6.41>

Walliser B, Marinovic S, Kornpointner C, Schlosser C, Abouelnasr M, Hutabarat OS, Haselmair C, Molitor C, Stich K, Halbwirth H (2022) The (Bio) chemical Base of Flower Colour in *Bidens ferulifolia*. *Plants*, 11(10), 1289. <https://doi.org/10.3390/plants11101289>

Wong DWS (2018) *Colorants. En Mechanism and Theory in Food Chemistry* (2nd ed., pp. 169–218). Springer International Publishing.



Hongos cultivados en México: Alcances biotecnológicos y culturales

Tania Raymundo¹, Mitzi Elizabeth Nava-Romero¹, Ricardo Valenzuela¹, Mauricio R. Palacios³, Pedro Miguel Alvarez-Cortés^{1,2}, Michelle Martínez-Pineda^{1,2,4}

¹Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica, Laboratorio de micología, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, Santo Tomás, Ciudad de México 11340, México; mnavar2500@alumno.ipn.mx (M.E.N.R.); traymundoo@ipn.mx (T.R.); pedromacascomycota@gmail.com (P.M.A.C.); mmartinezpin@ipn.mx (M.M.P).

²Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica, Laboratorio de investigación de bioingeniería de hongos, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, Santo Tomás, Ciudad de México 11340, México; pedromacascomycota@gmail.com (P.M.A.C.) mmartinezpin@ipn.mx (M.M.P).

³Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica, Laboratorio de fisiología vegetal, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, Santo Tomás, Ciudad de México 11340, México; mpalacio@ipn.mx (M.R.P.P).

⁴Autor para la correspondencia: mmartinezpin@ipn.mx (M.M.P)



Resumen

El cultivo de hongos comestibles y medicinales representa una actividad biotecnológica en expansión que combina valor nutricional, aplicaciones farmacéuticas, cosméticas, socioeconómicas y de biorremediación. A nivel mundial, esta práctica ha evolucionado desde las tradicionales empíricas hacia sistemas tecnificados que integran conocimientos micológicos, ingeniería ambiental y bioprocesos industriales. En países como China, India y Estados Unidos, el cultivo de especies como *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Lentinula edodes* y *Ganoderma lucidum* ha alcanzado niveles industriales, generando más de 42 millones de toneladas anuales, el Instituto Mexicano Americano de Relaciones Culturales (IMARC) reportó para el año 2025 un mercado de 1.1 mil millones de dólares, estimando que para el año 2034 exista un crecimiento alcanzando valores de 1.9 millones de dólares con una tasa de crecimiento anual del 5.78 %, en contraste, México a pesar de su gran diversidad fúngica y conocimiento etnomicológico ancestral, aún tiene poco desarrollo en términos de producción a gran escala, infraestructura y aprovechamiento de especies nativas. Con el análisis de literatura científica, datos estadísticos, estudios de caso y marco normativo reciente, proporcionamos una base integral para comprender el estado actual y las perspectivas del cultivo de hongos en escenarios locales. Se concluye que el fortalecimiento de políticas públicas, la inversión en ciencia aplicada y la vinculación entre comunidades productoras e instituciones académicas son claves para consolidar este sector como una herramienta de innovación social y biotecnológica.

Palabras clave: biotecnología de hongos, hongos comestibles, hongos medicinales, macromicetos, metabolitos bioactivos.

Abstract

The cultivation of edible and medicinal mushrooms constitutes a growing biotechnological activity that integrates nutritional value, pharmaceutical applications, and socioeconomic opportunities. Globally, this practice has evolved from traditional empirical methods to technologically advanced systems that incorporate mycological knowledge, environmental engineering, and industrial bioprocesses. In countries such as China, India, and the United States, the cultivation of species like *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus*, *Lentinula edodes*, and *Ganoderma lucidum* has reached industrial scales, producing more than 42 million tons annually, in contrast, Mexico despite its fungal megadiversity and rich ancestral ethnomycological knowledge still shows limited development in large scale production, infrastructure and the utilization of native species. By analyzing recent scientific literature, statistical data, case studies, and regulatory frameworks, we offer a comprehensive foundation for understanding the current status and future prospects of mushroom cultivation in local contexts. We conclude that strengthening public policies, investing in applied science, and fostering collaboration between producing communities and academic institutions are essential for consolidating this sector as a driver of social and biotechnological innovation.

Keywords: fungal biotechnology, edible mushrooms, medicinal mushrooms, macromycetes, bioactive metabolites.



Introducción

Los hongos han desempeñado un papel fundamental en los ecosistemas terrestres desde hace millones de años, poseen la capacidad de transformar residuos lignocelulósicos en biomasa comestible de alto valor nutritivo, contribuyendo así a la seguridad alimentaria, al reciclaje de desechos agrícolas y al desarrollo económico en comunidades rurales y urbanas (Royse *et al.*, 2017). Además de su relevancia ecológica, su valor nutricional, medicinal y económica se ha impulsado el desarrollo de técnicas de cultivo que hoy representan una alternativa agroproductiva sustentable en diversas regiones del mundo (Chang & Miles, 2004).

El término hongos comestibles cultivados hace referencia a aquellas especies de interés gastronómico, nutricional y/o medicinal que son propagadas bajo condiciones controladas de temperatura, humedad, luz, pH y sustrato (Chang & Miles, 2004). Se distinguen de los hongos silvestres recolectados por su estandarización productiva y trazabilidad, aspectos cruciales para su comercialización. Además de su valor nutricional, que incluye niveles importantes de proteínas de alrededor del 15 % hasta el 35 % en base seca, con presencia de aminoácidos esenciales comparables con fuentes animales (Manzi *et al.*, 2001).



La importancia de los macromicetos en México

México es conocido como uno de los países más ricos en diversidad biológica y cultural, lo que lo convierte en un territorio clave para el estudio etnomicológico. El término regiones micofílicas, acuñado por Guzmán (1997), hace referencia a aquellas zonas donde los hongos ocupan un lugar central en la vida cultural, espiritual, medicinal y alimentaria de las comunidades. Entre ellas destacan las regiones montañosas de Oaxaca, Puebla, Estado de México, Veracruz, Chiapas, Hidalgo y Michoacán, donde los pueblos indígenas han desarrollado un profundo conocimiento tradicional sobre la identificación, recolección y uso de hongos silvestres (Garibay-Orijel & Ruan-Soto, 2014). Los pueblos mazatecos, mixtecos, chi-nantecos y zapotecos de Oaxaca han empleado estas especies en ceremonias curativas y de adivinación, como lo documentó Wasson (1983) en sus investigaciones pioneras y Guzmán (1983) en su obra fundamental sobre *Psilocybe* (Fig. 1). La figura de María Sabina, chamana mazateca, ha sido emblemática en la difusión de estas prácticas, evidenciando la profunda conexión entre hongos, cosmovisión indígena y ritualidad (Estrada, 1981). En comunidades indígenas y campesinas, hongos como *Ganoderma* spp., *Fomes fomentarius* y *Auricularia polytricha* son utilizados como remedios en la cura de problemas respiratorios, gastrointestinales y como tónicos generales (Martínez-Carrera *et al.*, 2010). La etnomicología en México constituye



Figura 1. Basidioma de *Psilocybe cubensis* desarrollándose en ranchos ganaderos de Veracruz.

un campo interdisciplinario que articula saberes ancestrales con perspectivas modernas de nutrición, medicina y conservación, posicionando al país como un referente global en el estudio de las interacciones entre humanos y hongos. En la actualidad, México se posiciona como uno de los principales productores de hongos comestibles en América Latina, con una industria que combina prácticas tradicionales y modernas tecnologías agroindustriales (Ruan-Soto *et al.*, 2025).

Composición nutrimental de los hongos cultivados

Los hongos cultivados son ricos en fibra dietética, particularmente β -glucanos, quitina y hemicelulosas que favorecen la salud intestinal y la regulación del metabolismo de lípidos y carbohidratos (Valverde *et al.*, 2015); aportan lípidos en bajas proporciones que van desde el 2 % al 8 % de la materia seca, pero con un perfil de ácidos grasos insaturados, como ácido linoleico y oleico, que resultan benéficos para la salud cardiovascular (Kalač, 2016). En cuanto a micronutrientes, constituyen una fuente importante de minerales como potasio, fósforo, magnesio, zinc y hierro, así como vitaminas del complejo B (niacina, riboflavina, ácido fólico) y vitamina D derivada de la conversión de ergosterol bajo exposición solar (Mattila *et al.*, 2001). Los hongos comestibles y medicinales constituyen una fuente destacada de compuestos bioactivos con potencial terapéutico, lo que ha motivado su estudio en di-

versas áreas de la biomedicina y la nutrición. Sus metabolitos secundarios y polisacáridos estructurales se han asociado con efectos inmunológicos, anticancerígenos, antidiabéticos, hipocolesterolémicos y antioxidantes. Colocándolos como recursos clave para el desarrollo de nutraceuticos y fármacos de origen natural (Wasser, 2017; Valverde *et al.*, 2015); no obstante, aún se requieren ensayos clínicos de gran escala para consolidar su uso terapéutico estandarizado y determinar dosis seguras y efectivas.

Producción de hongos

El cultivo de hongos en México tiene una historia reciente, entre los géneros más cultivados en el mundo y particularmente en México destacan *Agaricus*, *Tricholoma*, *Pleurotus*, *Lentinula* y *Ganoderma* (Fig. 2), cuyas especies presentan ventajas agronómicas como alta productividad, adaptabilidad a diferentes sustratos lignocelulósicos y valor funcional (Aguilar-Ventura *et al.*, 2024). La producción rural del hongo *Pleurotus* (hongo ostra o también conocido como setas) se inició en 1989, en la región central del país.

El proceso general de cultivo puede dividirse en cuatro fases principales (Stamets, 2011). Primero, el crecimiento del hongo como micelio en un medio de cultivo como agar papa y dextrosa (PDA) y agar extracto de malta (EMA). Segundo, la preparación del inóculo que consiste en el cultivo del micelio en sustratos estériles como granos de trigo, mijo, centeno o aserrín, que sirven como vehículos de propagación. Tercero, la preparación del sustrato de producción, con la fuente de carbono, nitrógeno y minerales para el crecimiento del hongo. Puede ser lignocelulósico como la paja, el bagazo y el aserrín enriquecido con salvado, melaza, yeso, urea, entre otros. Por último, la fructificación y cosecha. El proceso puede durar de 15 a 45 días según la especie y el sistema de cultivo. El avance de la micotecnia (Fig. 3) ha permitido el desarrollo de diversos modelos de cultivo, que van desde tecnologías tradicionales hasta sistemas industriales como cultivo en bolsas plásticas perforadas o selladas, cultivo en botellas de polipropileno, cultivo en bandejas y túneles, cultivo en troncos o tocones y biorreactores sólidos o líquidos. Además, se han desarrollado sistemas de monitoreo ambiental, control automático de humedad y CO₂, iluminación artificial y trazabilidad genética de cepas (Fig. 4), lo que ha incrementado la eficiencia productiva y la calidad del producto final.



Figura 2. Basidioma de *Ganoderma* sp. desarrollándose sobre un árbol de *Quercus* muerto.



PANORAMA DE MODELOS DE CULTIVO EN MICROTECNIA

Desde Tecnologías Tradicionales hasta Sistemas Industriales

1 SISTEMAS DE SUSTRATO SÓLIDO (Tradicionales y Semi-Industriales)

A. CULTIVO EN TRONCOS O TOCONES



micelio
Para especies lignícolas (e.g., *Shiitake*).
Método natural, largos periodos.

B. CULTIVO EN BOLSAS PLÁSTICAS



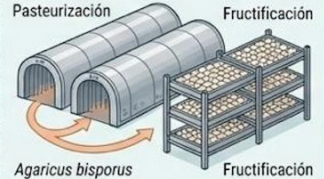
SELLADAS (incubación)
PERFORADAS (fructificación)
Común para *Pleurotus*.
Ambiente estéril, intercambio gaseoso.

C. CULTIVO EN BOTELLAS DE POLIPROPILENO



Llenado Inoculación Cosecha
Altamente automatizado (*Enoki*, *Shimeji*).
Facilita mecanización.

D. CULTIVO EN BANDEJAS Y TÚNELES



Pasteurización Fructificación
Agaricus bisporus
Clásico para champiñón.
Pasteurización masiva.

2 SISTEMAS DE ALTA TECNOLOGÍA (BIORREACTORES)

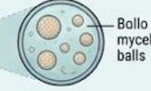
A. ESTADO SÓLIDO (FMS)

Producción de biomasa o enzimas.
Sustratos húmedos, sin agua libre.



Producción de biomasa o enzimas.
Sustratos húmedos, sin agua libre.

B. ESTADO LÍQUIDO (FERMENTACIÓN SUMERGIDA)



Crecimiento rápido.
Cosecha de extractos medicinales y biomasa.

RESUMEN DE VARIABLES DE CONTROL



Humedad Relativa
Evitar desecación.



Intercambio CO₂/O₂
Inducir formación del cuerpo fructífero.



Temperatura
Diferenciada para colonización y producción.

Figura 3. Avances de los modelos de cultivo de hongos, desde las tecnologías tradicionales hasta los sistemas industriales.



ESQUEMA ACTUAL DE CULTIVO DE HONGOS EN SISTEMAS CONTROLADOS



1 CEPA Y PROPAGACIÓN



- Aislamiento de Cepa
- Cultivo en Agar
- Creación de Semilla (Spawn)

2 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

- Mezcla y Suplementación
- Hidratación
- Esterilización/Pasteurización



Mezcla y Suplementación
Hidratación
Esterilización/Pasteurización

3 INOCULACIÓN E INCUBACIÓN

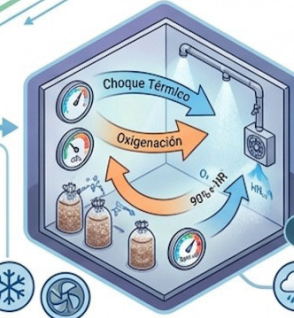


- Siembra del Spawn
- Crecimiento Micelial
- Control de Temperatura y CO₂

DATOS EN TIEMPO REAL:
T°, CO₂, Humedad, Luz

5 DESARROLLO Y COSECHA

DEVELOPMENT & HARVEST
Crecimiento de Cuerpos Fructíferos,
Monitoreo de Parámetros,
Recolección en Punto Óptimo.



4 INDUCIR FRUCTIFICACIÓN

INDUCE FRUITING
Reducción Temp.,
Ventilación,
Control de Humedad
(Nebulización).

Figura 4. Esquema actual de cultivo de hongos en sistemas controlados.

Biotecnología en el cultivo de hongos

El cultivo de hongos comestibles y medicinales, conocido también como micocultura, representa una de las formas más antiguas de biotecnología aplicada, con una historia que se remonta a más de 2,000 años en Asia Oriental. En particular, China ha sido pionera en la domesticación de especies como *L. edodes* (shiitake), cuyo cultivo está documentado desde la dinastía Song (960–1279 d.C.) (Chang & Miles, 2004). A partir del siglo XVII, el cultivo de *Agaricus bisporus* se expandió en Europa, especialmente en Francia, donde se desarrollaron las primeras técnicas de cultivo subterráneo en catacumbas, mientras que a mediados del siglo XX el cultivo estaba dominado por *A. bisporus*, actualmente especies como *P. ostreatus*, *L. F. edodes*, *F. velutipes* y *G. lucidum* han ganado importancia debido a su valor nutraceutico y medicinal (Royse *et al.*, 2017). Datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación Agricultura (FAO) y del informe de Chang y colaboradores en (2020) estiman que la producción mundial

superó los 42 millones de toneladas anuales, con China como el principal productor con más del 75 % del total mundial, seguido por India, Estados Unidos, Países Bajos y Polonia.

México ha sido pionero en el cultivo de *Pleurotus* spp., es de los más promovidos por su adaptabilidad a residuos agrícolas, bajo costo, aceptación en mercados locales, al momento cinco especies (*P. osteratus*, *P. eryngii*, *P. pulmonarius*, *P. citrinopileatus*, *P. djamour* var. *roseus*) se han obtenido en medio de cultivo a bajo costo (Acosta-Urdapilleta *et al.*, 2016).

Estados de la república destacados en el cultivo de hongos

En México, el cultivo de hongos comestibles ha cobrado creciente relevancia como estrategia para promover la seguridad alimentaria, la generación de ingresos en zonas rurales y el aprovechamiento sustentable de los recursos lignocelulósicos (Martínez-Carrera *et al.*, 2016). En la región central del país, el estado de Hidalgo ha impulsado el cultivo de *P. ostreatus* (Fig. 5) mediante el uso de invernaderos tipo galera rústica. Querétaro es uno de los principales estados productores de hongos comestibles en México. Según datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural por sus siglas SADER, la entidad alcanzó una producción anual de aproximadamente 3,350 toneladas, ubicándose como el primer lugar nacional en volumen (SADER, 2021).



Figura 5. Basidioma de *Pleurotus* sp. desarrollándose en condiciones naturales.

En Puebla, particularmente en la región de la Sierra Norte, se ha documentado una coexistencia entre el cultivo de hongos y la recolección tradicional en bosques mesófilos. En este contexto, comunidades totonacas han desarrollado modelos agroecológicos como el *kuojtakiloyan*, una parcela agroforestal multiespecie que integra cultivos agrícolas, árboles maderables y hongos silvestres comestibles (Toledo, 2015). En el Estado de México, y particularmente en la región de Toluca y el corredor forestal norte, se ha documentado una amplia diversidad de hongos silvestres comestibles como parte de la cultura alimentaria local; aunque el cultivo formal aún no está ampliamente implementado, existen experiencias de recolección regulada y proyectos piloto para especies ectomicorrizógenas como *Amanita caesarea* y *Boletus edulis* (Fig. 6), en colaboración con instituciones como Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (Pérez-Moreno & Martínez-Reyes, 2013).

En comunidades rurales de Oaxaca, como San Juan Yatzona, se han implementado Unidades de Producción Familiar para el cultivo de *P. pulmonarius* y *P. ostreatus*. Se utilizan módulos rústicos de aproximadamente 56 m², subdivididos para inoculación, fructificación y empaclado. Los sustratos empleados incluyen paja y rastrojo agrícola, con eficiencias biológicas de hasta 72.5 %. La inversión inicial promedio es de alrededor de \$11,000 MXN, lo cual permite el acceso a familias campesinas y promueve la soberanía alimentaria local (Valdespino-Sahagún, 2020). En el estado de Chiapas, se ha desarrollado un modelo agroforestal en el cual se cultivan hongos comestibles, especialmente *Pleurotus ostreatus*, en condiciones de bosque mesófilo de montaña (Huacash-Pale & Ocampo-Guzmán, 2021).

El estado de Veracruz ha sido pionero en la implementación de programas de capacitación técnica y cultivo de hongos comestibles con enfoque social. La Unidad de Biotecnología de Hongos Comestibles y Medicinales (UBHCM) del Instituto de Ecología (INECOL) ha impulsado proyectos productivos con perspectiva de género y enfoque territorial. El estado de Tlaxcala ha promovido el cultivo urbano y rural de especies como *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* y *Lentinula edodes*. Los sistemas de producción incluyen desde cuartos adaptados en viviendas hasta invernaderos semi-tecnificados, con monitoreo básico de temperatura y humedad (Ruan-Soto *et al.*, 2025).



Figura 6. Basidioma de *Boletus* sp. desarrollándose en el bosque de Pinus-Quercus en el Estado de México.

El futuro de los hongos cultivados en México

El cultivo y aprovechamiento de hongos plantea dilemas éticos que deben considerarse, especialmente en contextos de biodiversidad y conocimiento tradicional. Numerosas comunidades rurales e indígenas poseen saberes sobre el uso de hongos comestibles y medicinales, los cuales han sido aprovechados por terceros sin reconocimiento ni beneficio compartido. La optimización de recursos, la utilización de subproductos agrícolas y el fortalecimiento de la organización comunitaria configuran un modelo necesario en diferentes regiones del país, lo que representa una gran oportunidad para transformar la realidad rural mediante la innovación tecnológica y el desarrollo cooperativo (Ruan-Soto *et al.*, 2025).

Aunque México posee una alta diversidad de hongos silvestres comestibles y medicinales, muchas especies aún no han sido estudiadas a fondo. Aunque existen avances en biotecnología fúngica como biorreactores, sensores y trazabilidad genética, su adopción en regiones rurales es aún limitada por el alto costo de implementación y la falta de transferencia tecnológica (Royse *et al.*, 2017). Los retos incluyen estandarización de extractos y formulaciones, ensayos clínicos aleatorizados de mayor tamaño y duración, estudios de farmacocinética y seguridad en población mexicana y el aprovechamiento de especies nativas y conocimiento etnomicológico local.

Las tecnologías actuales incluyen el mejoramiento genético de las especies para favorecer el desarrollo de organismos con mayor tamaño y mejores propiedades nutrimentales, para ello se analiza el genoma completo de las especies de interés, con la finalidad de identificar los genes encargados de la expresión de los metabolitos de importancia nutrimental, como proteínas, polisacáridos, vitaminas entre otras, este conocimiento permite desarrollar estrategias para favorecer la expresión de dichos genes, generando organismos con alto valor alimenticio, otra estrategia es la clonación de genes que puedan ser colocados en las especies para favorecer la producción de nutrientes importantes para el ser humano, esta técnica consiste en la introducción de genes en el ADN de los hongos comestibles, los genes implantados se expresan en las hifas y producen los nutrientes de interés (Chen *et al.*, 2018).

Conclusiones

Los hongos cultivados ofrecen una alternativa nutrimental importante para combatir el hambre en México y el mundo, son alimentos integrales cuyo aprovechamiento se ha realizado desde tiempos prehispánicos en el país, actualmente estados de la República Mexicana como Querétaro, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca y Estado de México, han implementado herramientas biotecnológicas para el cultivo sustentable de macromicetos comestibles y medicinales, utilizando residuos agrícolas, sin embargo, aún se requieren estrategias que permitan un mejor aprovechamiento de estos valiosos recursos naturales, siendo México un país líder en el desarrollo de estas técnicas de micocultura.

México tiene una gran diversidad de especies fúngicas con excelente potencial de ser cultivados en una gran variedad de sustratos y climas que permitirán una regionalización de la producción a mayor escala; sin embargo, es necesaria la investigación e infraestructura para poder aprovechar estos recursos mediante economía circular y desarrollo sustentable.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional (SIP) el apoyo otorgado para la realización de las investigaciones con hongos en los proyectos 20260342, 20260756, 20260757. Se agradece a la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del I.P.N. las facilidades para realizar las exploraciones de campo. Nava-Romero y Alvarez-Cortés agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada para realizar sus estudios de Doctorado y Maestría. Raymundo y Valenzuela al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) el apoyo a sus investigaciones.

Hongos cultivados en México: Alcances biotecnológicos y culturales

Referencias

- Aguilar-Ventura, D.A., Serna-Lagunes, R., Chen, J., Llerena-Hernández, R.C. (2024). Implicaciones biotecnológicas del cultivo de *Pleurotus* en la formación académica y la capacitación a productores de Las Montañas, Veracruz. *Bioagrociencias* 17: 128-135. DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.5590>
- Acosta-Urdapilleta, M.D.L., Téllez-Téllez, M., Villegas, E., Estrada, A. & Díaz-Godínez, G. (2016). Caracterización de cinco especies de *Pleurotus* crecidas en cuatro medios de cultivo. *Mexican Journal of Biotechnology*, 1: 1-11. <https://sociobiotech.com/journals/mexjbiotechnol/article/view/32/16>
- Chang, S. T., & Miles, P. G. (2004). Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact. CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203492086>
- Chen, B.X., Wei, T., Ye, Z.W., Yun, F., Kang, L.Z., Tang, H.B., Guo, L.Q. & Lin, J.F. (2018) Efficient CRISPR-Cas9 Gene Disruption System in Edible-Medicinal Mushroom *Cordyceps militaris*. *Frontiers in Microbiology* 12(9): 1157. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01157>
- Estrada, A. (1981). *María Sabina: Her Life and Chants*. Ross-Erikson Inc.
- García-Lagos, D., Torres, A. & Quezada-Téllez, L.A. (2025). Cultivo de setas: una perspectiva económica para inversionistas agroindustriales. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 11: 30-37. DOI: <https://doi.org/10.29057/icap.v11i2.12273>
- Garibay-Orijel R & Ruan-Soto F. (2014). Listado de hongos silvestres consumidos como alimento tradicional en México. In: Moreno-Fuentes, A. y R. Garibay-Orijel. La etnomicología en México. Estado del arte. México, D.F. pp 9-109.
- Guzmán, G. (1997). Los nombres de los hongos y lo relacionado con ellos en América Latina: introducción a la etnomicobiota y micología aplicada de la región: sinonimia vulgar y científica. *Revista Mexicana de Micología*, 13, 15-27. ISBN: 968-786306-4
- Guzmán, G. (1983). The genus *Psilocybe*: a systematic revision of the known species including the history, distribution, and chemistry of the hallucinogenic species. J. Cramer. Beihefte zur Nova Hedwigia. 439 pp. ISBN 3768254747.
- Huacash-Pale, S. & Ocampo-Guzmán, A. (2021). El territorio y actores sociales del sistema de producción de hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*, sp) en Aldama, Chiapas. *Horizontes Territoriales*, 1(2): 1-25. <https://horizontesterritoriales.unach.mx/index.php/Revista/article/view/6>
- IMARC. (2025) Tamaño, participación, tendencias y pronóstico del mercado de hongos en México por tipo de hongo, canal de distribución, uso final y región, 2026-2034. Consultado el 23 de Enero de 2026 en <https://www.imarcgroup.com/report/es/mexico-mushroom-market>
- Kalač, P. (2016). Edible Mushrooms: Chemical Composition and Nutritional Value. Academic Press.
- 236 pp. ISBN: 0128045027, 9780128045022.
- Mattila, P., Könkö, K., Euro, M., Pihlaja, J.-M., Astola, J., Vahteristo, L., Hietaniemi, V., Kumpulainen, J., Valtonen, M. & Piironen, V. (2001). Contents of vitamins, mineral elements, and phenolic compounds in cultivated mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2343-2348. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf001525d>
- Manzi, P., Aguzzi, A., & Pizzoferrato, L. (2001). Nutritional value of mushrooms widely consumed in Italy. *Food Chemistry*, 73(3), 321-325. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00304-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00304-6)
- Martínez-Carrera, D., Curvetto, N., Sobal M., Morales P., & Mora V.M. (Eds.). (2010). Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI. Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales-COLPOS-UNSCONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP, Puebla. 648 pp. ISBN: 9709752014, 9789709752014
- Martínez-Carrera, D., Larqué-Saavedra, A., Tovar Palacio, A., Torres, N., Meneses, M.E., Sobal Cruz, E., Morales Almora, P., Bonilla Quintero, M., Escudero Uribe, H., Tello-Salgado, I., Bernabé González, T., Martínez Sánchez W. & Mayett, Y. (2016). Contribución de los hongos comestibles, funcionales y medicinales a la construcción de un paradigma sobre la producción, la dieta, la salud y la cultura en el sistema agroalimentario de México. Capítulo 30, pp. 581-640. En: Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México. Eds. Martínez Carrera D. & Ramírez Juárez, J. Editorial del Colegio de Postgraduados-AMC-CONACYT-UPAEP-IMINAP. ISBN: 978-607-715-447-1
- Perez, J. & Martínez-Reyes, M. (2013). Edible ectomycorrhizal mushrooms: Biofactories for sustainable development. Biosystems engineering: Biofactories for food production in the century XXI. 151-233. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-03880-3_6
- Perez, J. & Martínez-Reyes, M. (2013). Edible ectomycorrhizal mushrooms: Biofactories for sustainable development. Biosystems engineering: Biofactories for food production in the century XXI. 151-233. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-03880-3_6
- Royse, D.J., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. In *Edible and medicinal mushrooms: Technology and applications* (pp. 5-13). Wiley. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2>
- Ruan-Soto, F., Sánchez, J., Noyola-Méndez, L., Ramírez-Terrazo, A., Garibay-Orijel, R. & Cifuentes, J. (2025). Aprovechamiento de los hongos comestibles en México: una tradición que trasciende al futuro. *Lilloa*. 62:181-202. DOI: <https://doi.org/10.30550/lilloa.1822>
- SADER. (2021) Desarrollo Agricultura tecnología para aumentar producción de hongos silvestres comestibles. Consultado el 23 de Enero de 2026 en <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/develop-agricultura-tecnologia-para-aumentar-produccion-de-hongos-silvestres-comestibles>
- Stamets, P.S. (2011). Growing gourmet and medicinal mushrooms. Clarkson Potter/Ten Speed. 614 pp. ISBN: 1607741385, 9781607741381
- Toledo, V. M. (2015). El kuojtakiloyan: patrimonio biocultural Nahuatl de la sierra norte de Puebla, México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 302 pp. ISBN: 6074246114, 9786074246117
- Valdespino-Sahagún, F.L. (2020). Aprovechamiento sostenible de hongos comestibles hacia una seguridad alimentaria. *Meio Ambiente (Brasil)*, 2(5), 45-55. DOI: <https://doi.org/10.66205/mabra.v2i5.97>
- Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., & Paredes-López, O. (2015). Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. *International Journal of Microbiology*, 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/376387>
- Wasson R.G. (1893). El hongo maravilloso Teonanácatl: Micolatría en Mesoamérica. México, Fondo de Cultura Económica, pp. 25-57.
- Wasser, S.P. (2017). Medicinal mushrooms in human clinical studies. Part I. Anticancer, oncoimmunological, and immunomodulatory activities. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 19(4): 279-317. DOI: <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.v19.i4.10>



¿Qué le ocurre a la planta de chícharo cuando hay exceso de sal en el suelo?

Carlos Salgado Cruz, Aranza Penélope Carvajal Lira, María Myrna Solís
Oba, Rubria Marlen Martínez Casares

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada

Autor para correspondencia: msolis@ipn.mx

Resumen

La salinidad del suelo es uno de los principales factores que limitan la productividad agrícola a nivel mundial, especialmente en regiones donde el riego y el manejo del suelo no se realizan de manera adecuada. El estrés salino afecta negativamente el crecimiento, desarrollo y rendimiento de numerosos cultivos, entre ellos el chícharo (*Pisum sativum*), una leguminosa de gran importancia nutricional y agrícola. La acumulación excesiva de sales, principalmente cloruro de sodio, provoca alteraciones fisiológicas y bioquímicas en el chícharo, como estrés osmótico, toxicidad iónica y estrés oxidativo, que impactan en procesos clave como la germinación, el desarrollo vegetativo, la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y el equilibrio hídrico. En esta revisión se describen los principales efectos del estrés salino en el chícharo, así como los mecanismos de respuesta de la planta, incluyendo la activación de sistemas antioxidantes y el ajuste osmótico. Para la búsqueda de los artículos científicos para llevar a cabo esta revisión se utilizó la plataforma Google Académico, tomando como periodo de búsqueda 2017 al 2025. Comprender estos procesos resulta fundamental para promover prácticas agrícolas más sostenibles y mitigar los efectos negativos de la salinidad en los sistemas productivos.

Palabras clave: chícharo, estrés salino, estrés oxidativo, productividad agrícola.



Abstract

Soil salinity is one of the main factors limiting agricultural productivity worldwide, especially in regions where irrigation and soil management are not carried out properly. Salt stress negatively affects the growth, development, and yield of numerous crops, including pea (*Pisum sativum*), a legume of great nutritional and agricultural importance. The excessive accumulation of salts, mainly sodium chloride, causes physiological and biochemical alterations in peas, such as osmotic stress, ionic toxicity, and oxidative stress, which impact key processes such as germination, vegetative development, photosynthesis, nutrient absorption, and water balance. This review describes the main effects of salt stress on peas, as well as the plant's response mechanisms, including the activation of antioxidant systems and osmotic adjustment. To search for scientific articles to carry out this review, the Google Scholar platform was used, taking the search from 2017 to 2025. Understanding these processes is essential to promote more sustainable agricultural practices and mitigate the negative effects of salinity in production systems.

Keywords: pea; salinity stress; oxidative stress; agricultural productivity.





Introducción

Las plantas pueden estar sometidas a diferentes tipos de estrés biótico (bacterias, hongos, virus) y abiótico (sequía, altas temperaturas, salinidad o cambios en la disponibilidad de nutrientes en el suelo). Ante el estrés abiótico pueden reaccionar de dos maneras, dependiendo principalmente de la intensidad. El primero es el mecanismo de tolerancia, el cual permite mantener una alta actividad metabólica bajo estrés no muy severo y si es más severo mantiene una actividad reducida. En cambio, el mecanismo de evasión reduce al mínimo la actividad metabólica y mantiene en reposo o durmiente a la planta ante condiciones extremas de estrés (Luquez y Petigrosso 2023).

De todas las formas de estrés abiótico a los que las plantas están expuestas el estrés hídrico y el salino son los más comunes. El estrés hídrico está directamente relacionado con el equilibrio osmótico, lo cual puede provocar estrés debido a un aumento de la presión osmótica en la zona radicular, afectando también la absorción y disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno, calcio, potasio, fósforo, hierro y zinc (Alharbi y Alghamdi 2022; Mustafa *et al.* 2024; Luquez y Petigrosso 2023).

La salinización secundaria (no natural) es causada por las actividades antropogénicas, principalmente por prácticas agrícolas inadecuadas como el manejo incorrecto del agua, el uso de agua de baja calidad para el riego, la aplicación excesiva de fertilizantes químicos, el uso de agua de riego salina y condiciones de drenaje del suelo deficiente. La salinidad en los suelos es causada principalmente por el cloruro de sodio (NaCl), aunque también por otras sales como sulfato de calcio, bicarbonato de calcio, cloruro de magnesio y bicarbonato de magnesio (Victoria *et al.* 2025).

El exceso de salinidad en el suelo afecta el desarrollo y la producción en la agricultura, ya que es una de las principales causas de la infertilidad del suelo. La exposición o el crecimiento de las plantas en ambientes con un alto estrés salino puede generar diversos problemas como afectaciones en el tiempo de crecimiento, desarrollo deficiente, clorosis o amarillamiento en las hojas y afectaciones en los sistemas antioxidantes, normalmente afecta todas las etapas fenológicas de la planta, desde la germinación hasta la maduración (Alharbi y Alghamdi 2022). La salinidad también limita el crecimiento y el desarrollo de microorganismos benéficos y simbióticos en los suelos.

Chícharo (*Pisum sativum*)

La planta de chícharo es una leguminosa de gran importancia que se cultiva a nivel mundial, de la cual se utilizan principalmente sus granos o semillas como alimento, ya que tienen un alto valor nutricional, debido a su contenido de proteínas (19- 27%), vitaminas (A, C, K, tiamina, niacina, ácido fólico y piridoxina), minerales (Fe, Mg, P y Zn) y antioxidantes. También se cultiva como forraje para animales, como abono para mejorar la calidad del suelo y para la rotación de cultivos debido a la fijación de nitrógeno (Ehtaiwwesh y Emsahel 2020). De acuerdo con lo reportado por otros investigadores, se ha demostrado que la planta de chícharo es más sensible a la salinidad en comparación con otras leguminosas como el haba y la

soya, ya que el rendimiento del chícharo en campo se reduce en casi un 50% a 100 mM de NaCl y su productividad disminuye cuando se expone a altos niveles (Ehtaiwwesh y Emsahel 2020; Khan *et al.* 2022).

A continuación, se explican los efectos negativos que tiene el estrés salino en las plantas de chícharo (figura 1):

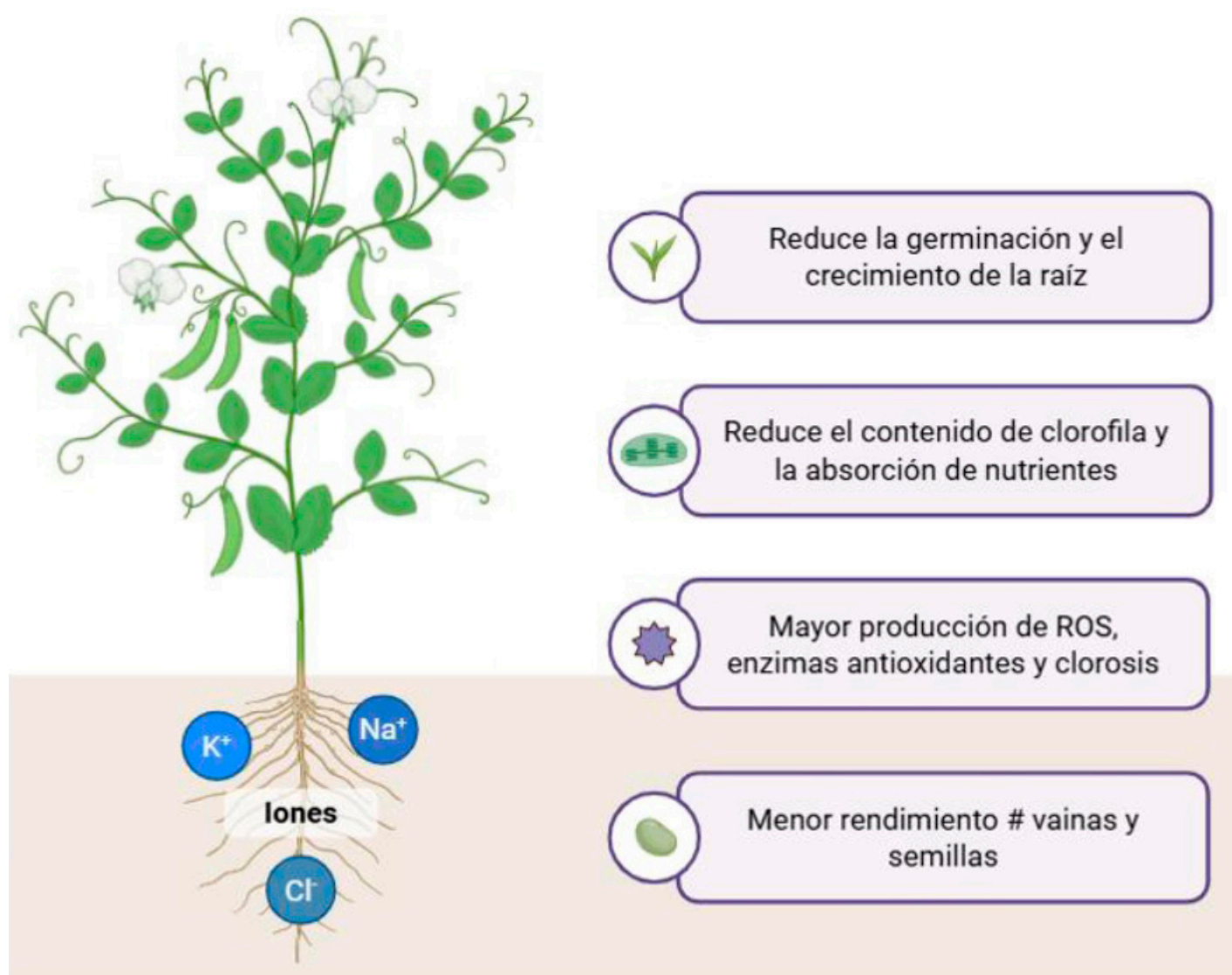


Figura 1. Efectos del estrés salino en *Pisum sativum*

Germinación y desarrollo

Cuando las semillas y plantas de chícharo son sometidas a altas concentraciones de sal, disminuye la germinación y el crecimiento. Lo cual afecta gravemente a la planta, ya que las etapas de germinación y desarrollo vegetativo son fases primordiales para la supervivencia y el establecimiento de la planta. Lo cual reduce el porcentaje de germinación, la velocidad de germinación, la altura de la planta, el número de ramas y el número de hojas. Un exceso de sal también afecta en la fotosíntesis, en la formación de nódulos y en la aparición de infecciones (Ehtaiwwesh y Emsahel 2020; Yousef y Malik 2020).

Estrés oxidativo

Por lo general la acumulación de sal provoca un aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en las raíces y en los tejidos foliares. Algunas de las ROS más comunes son el anión superóxido (O_2^-), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el radical hidroxilo (OH). Como mecanismo de defensa para regular el exceso de ROS la planta aumenta la producción de enzimas antioxidantes. La superóxido dismutasa (SOD) es la primer enzima en actuar contra las ROS, ya que el radical superóxido es un precursor de diversas especies altamente reactivas, por lo cual, mantener una concentración estable de superóxido mediante la SOD es un mecanismo de defensa crucial (Alharbi y Alghamdi 2022). La actividad de

la peroxidasa (POD) indica cambios en la pared celular y en la integridad de la membrana en las hojas de las plantas, la catalasa (CAT) sirve como mecanismo de defensa contra el H_2O_2 , lo convierte en O_2 y H_2O , estas enzimas protegen a la planta del daño celular provocado por las ROS. El exceso de ROS provoca la peroxidación de los lípidos y la formación de niveles elevados de productos de oxidación lipídica, como el malondialdehído (MDA) el cual deteriora la integridad de la membrana y la funcionalidad celular. Por lo tanto, el contenido de MDA sirve comúnmente como marcador de estrés oxidativo (Alharbi y Alghamdi 2022; Sergiev y Atanasova 2018).

Pigmentos fotosintéticos

Altas concentraciones de sal causan una disminución en los pigmentos fotosintéticos como la clorofila a, b y total. Lo cual podría ser causado por la acumulación de iones de Na^+ y de Cl^- en las hojas, lo cual provoca una alteración en la síntesis de clorofila, de carotenoides y provoca

clorosis o amarillamiento en las hojas. También causa un incremento en la producción en la enzima clorofilasa (degradadora de la clorofila), disminuyendo las moléculas de clorofila, lo que provoca la degradación de la estructura de los cloroplastos (Alharbi y Alghamdi 2022).

Estrés osmótico

Es un mecanismo mediante el cual las plantas contrarrestan al estrés salino, el cual es inducido por altos niveles de salinidad. Es un proceso crítico para mantener el contenido de agua celular, ya que incrementa la concentración neta de solutos o reduce el potencial hídrico de la célula mediante el ajuste osmótico. El estrés salino provoca un aumento en la acumulación de iones sodio (Na^{+}) en los tejidos vegetales, al mismo tiempo se reduce la absorción y concentración de iones potasio (K^{+}), este desequilibrio $\text{Na}^{+}/\text{K}^{+}$ afecta procesos metabólicos como la activación enzimática y la regulación estomática. La salinidad afecta también el contenido relativo de agua en las hojas (RLWC), altas concentraciones disminuyen considerablemente el RLWC, dicha disminución puede estar asociada con la pérdida de turgencia celular, cierre estomático y reducción en la capacidad fotosintética (Alharbi y Alghamdi 2022).

La acumulación de iones Na^{+} y Cl^{-} en la rizosfera es tóxica para la planta, ambos iones afectan negativamente el crecimiento, los iones Na^{+} disminuyen la absorción de agua y de nutrientes esenciales como el calcio y el potasio, lo que provoca un desequilibrio osmótico y nutricional. Los iones de Cl^{-} se acumulan principalmente en las hojas, altas concentraciones afectan el crecimiento de la planta. La alta concentración iónica provoca estrés oxidativo, lo que aumenta la producción de ROS, ocasionando déficit hídrico al disminuir la absorción de agua por parte de las raíces (Ishrat y Chaudhury 2022).

Diversos autores han reportado que la aplicación de sales en el cultivo de chícharo afecta de manera importante a la planta, como se observa en la tabla 1.

Concentración (NaCl)	Efectos	Autores
0, 150 y 300 mM	Disminución en: Clorofila: 57.7% Altura de la planta: 36.6% Peso seco: 32.3% A una concentración de 300 mM	De Sousa, (2017)
0, 250 y 500 mM	Disminución en: Longitud radicular: 19% Longitud de la hoja: 42.3% Peso seco: 35.7%	Yousef et al. (2020)
0, 50, 100, 200 y 400 mM	Disminución en: Porcentaje de germinación: 80% Longitud de radícula (semilla): 74% Longitud de plúmula: 87% Clorofila: 66% Longitud radicular: 70% Peso seco: 65%	Alharbi et al. (2022)
0, 50 y 100 mM	Disminución en: Longitud radicular: 18.7% Longitud del brote: 29.8% Peso seco: 47.3%	Mustafa et al. (2024)

Tabla 1. Efectos del estrés salino en el chícharo



Conclusiones

Es importante conocer las causas y los efectos del estrés salino en las plantas, en esta revisión en particular en el chícharo, ya que afecta principalmente el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo, lo cual impacta en la producción agrícola. De acuerdo con la información encontrada se ha mostrado que la salinidad originada principalmente por prácticas agrícolas inadecuadas provoca alteraciones fisiológicas y bioquímicas que afectan en todo el ciclo de crecimiento de la planta desde la germinación hasta la maduración. Los principales efectos del estrés salino son la reducción del crecimiento vegetal, el desequilibrio nutricional y las alteraciones en los sistemas

antioxidantes. Por lo cual es de suma importancia comprender los mecanismos mediante los cuales el estrés salino afecta al chícharo para desarrollar estrategias de manejo agrícola más sostenibles, como un sistema de riego adecuado, el mejoramiento del drenaje y una selección adecuada de prácticas que reduzcan el exceso de salinidad en el suelo. De igual manera resulta importante conocer la sensibilidad y tolerancia del chícharo ante el estrés abiótico como la salinidad y los mecanismos de defensa y adaptación que presenta la planta cuando se desarrolla o cultiva en este tipo de ambiente.



¿Qué le ocurre a la planta de chícharo cuando hay exceso de sal en el suelo?

Referencias

Alharbi K, Al-Osaimi A, Alghamdi B (2022) Sodium chloride (NaCl)-induced physiological alteration and oxidative stress generation in *Pisum sativum* (L.): A toxicity assessment. *ACS omega*. 7: 20819-20832.

De Sousa Leite T (2017) Efeito da irrigação salina no crescimento inicial de *Pisum sativum* L. *Agropecuaria Científica No Semiárido*, 13: 270-274.

Ehtaiwweh A, Emsahel M (2020) Impact of salinity stress on germination and growth of pea (*Pisum sativum* L.) plants. *Sci*. 35: 146-159.

Ishrat F, Afrasiab H, Chaudhury F (2022) Effects of salinity stress on growth and physio-biochemical parameters of three pea (*Pisum sativum* L.) cultivars of different maturity duration. *Advancements in Life Sciences*. 9: 380-391.

Khan M, Baset M, Quddus M, Sarker K, Rahman M, Skalicky M, Hossain A (2022) Salinity-induced physiological changes in pea (*Pisum sativum* L.): Germination rate, biomass accumulation, relative water content, seedling vigor and salt tolerance index. *Plants*. 11: 1-15.

Luquez J, Eyherabide G, Petigrosso L (2023) Tolerancia a la salinidad del suelo en especies de interés agronómico: Importancia de su estudio en el contexto de cambio climático. *Nexos*. 34: 12-19.

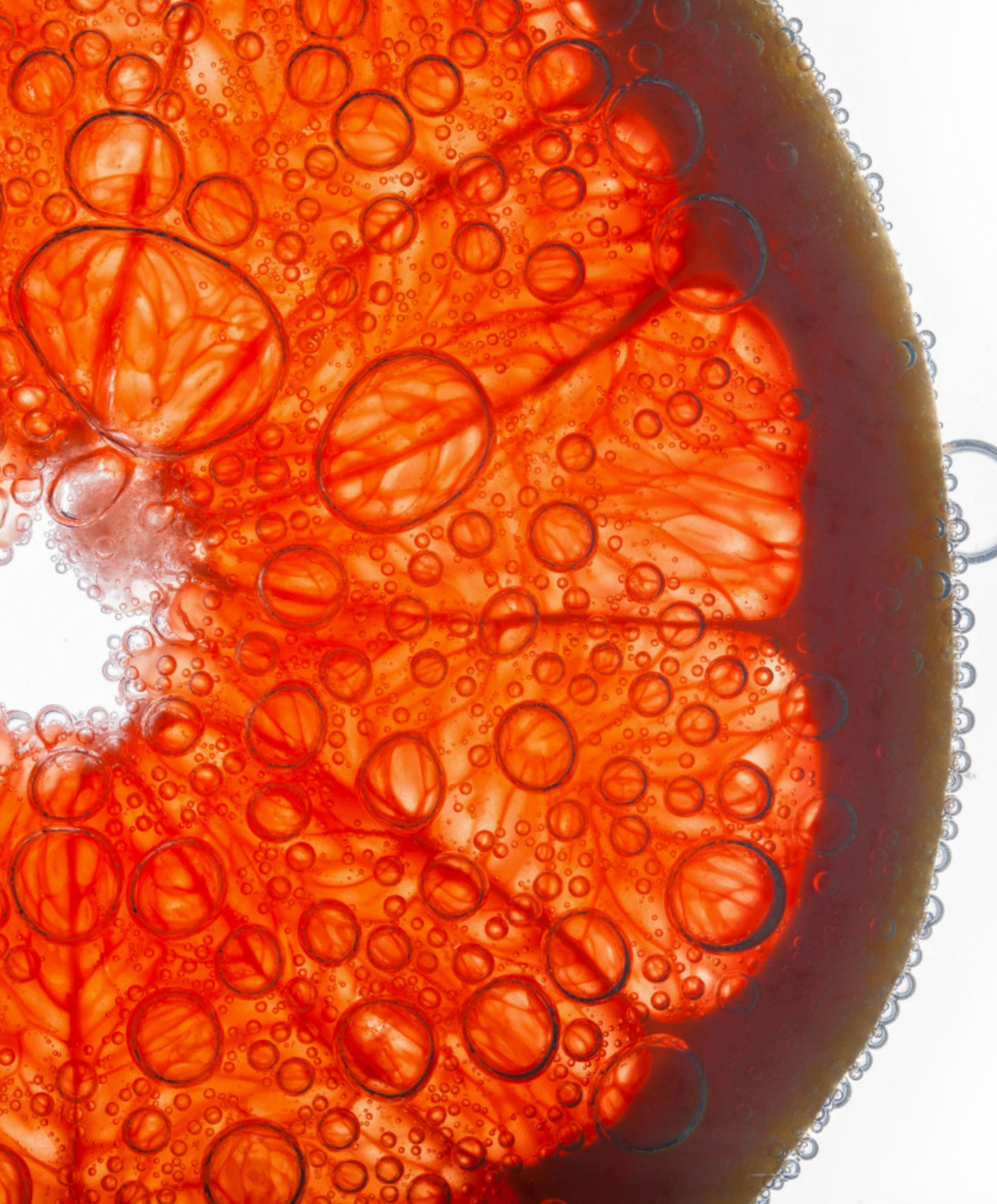
Mustafa G, Chaudhari S, Manzoor M, Batoool S, Hatami M, Hasan M (2024) Zinc oxide nanoparticles mediated salinity stress

mitigation in *Pisum sativum*: a physio-biochemical perspective. *BMC Plant Biology*. 24: 1-15. Sergiev I, Todorova D, Atanasova L (2018) High salinity-induced proline and polyamine changes in organs of pea (*Pisum sativum* L. cv. ran). *Comptes Rendus de L Academie Bulgare des Sciences*. 71: 1479-1487.

Victoria P, Magdaleno H, Nolasco A, Velázquez J, Cárdenas G, Maldonado N (2025) La salinización del suelo cultivable: causas, problemática actual asociada al cambio climático y áreas de oportunidad. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*. 3: 83-101.

Yousef F, Shafique F, Ali Q, Malik A (2020) Effects of salt stress on the growth traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) seedlings. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*. 29: 1-6.





Nanosensores electroquímicos. Una alternativa para la detección de antioxidantes en alimentos

Zaira Mora Mora^{1*}, Ma. Guadalupe Garnica Romo²

¹Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Biológicas, Facultad de Químico Farmacobiología;

²Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

*Correo: 2026096g@umich.mx

Resumen

Hablar de antioxidantes ha dejado de ser exclusivo del ámbito científico para convertirse en parte del lenguaje cotidiano asociado a la alimentación saludable. Elegimos ciertas frutas, verduras y productos “funcionales” con la idea de que tienen estos compuestos que aportan beneficios a la salud, más allá de la nutrición básica. Pero ¿cómo saber que realmente están ahí? Esto solo puede resolverse midiendo.

Medir antioxidantes no es sencillo. No se pueden ver a simple vista ni identificar por sabor o apariencia. Para detectarlos, son necesarias herramientas científicas capaces de interpretar lo que ocurre a nivel molecular.

Este artículo revisa, desde una perspectiva accesible, cómo se determinan estos compuestos y por qué no siempre es sencillo hacerlo fuera de entornos especializados. Se introduce el uso de nanosensores electroquímicos como una alternativa emergente para la detección de estos compuestos de forma práctica. Más allá de describir una tecnología, se propone una forma distinta de entender el análisis de alimentos, donde conceptos como superficie, nanomaterial y transferencia de electrones permiten traducir lo que ocurre a escala molecular en información comprensible. De esta manera, se busca acercar al lector a una línea de investigación actual, destacando sus retos y su potencial, en la vida cotidiana.

Palabras clave: Electroanálisis de alimentos, antioxidantes, electroquímica analítica, nanosensores, ingeniería de materiales



Abstract

S In recent years, antioxidants have moved beyond the scientific domain and become part of everyday language associated with healthy eating. Fruits, vegetables, and “functional” products are often chosen under the assumption that they contain compounds capable of providing health benefits beyond basic nutrition. But how can we know if these compounds are present? This can only be answered through measurement.

However, measuring antioxidants is not straightforward. They cannot be seen with the naked eye nor identified by taste or appearance. Their detection requires scientific tools capable of interpreting processes occurring at the molecular level.

This article reviews, from an accessible perspective, how these compounds are determined and why their analysis is not always feasible outside specialized environments. It introduces electrochemical nanosensors as an emerging alternative for their detection in a more practical manner. Beyond describing a technology, the work proposes a different way of understanding food analysis, where concepts such as surface, nanomaterial, and electron transfer allow molecular-scale processes to be translated into meaningful information. In this way, the article aims to bring readers closer to a current research field, highlighting both its challenges and its potential in everyday contexts.

Keywords: Food Electroanalysis, antioxidants, analytical electrochemistry, nanosensors, materials engineering



Introducción

Llevar una alimentación saludable ya no es solo cuestión de hábitos, sino también de información. Comprender lo que los alimentos pueden aportarnos implica tomar decisiones conscientes: elegir aquellos que no solo nos nutren y proporcionan energía, sino también aquellos que contribuyen al mantenimiento de la salud.

Promover una alimentación saludable no es una tendencia reciente. Desde hace años, se impulsan estrategias para fomentar una dieta equilibrada, entre ellas herramientas gráficas como el “Plato del Bien Comer”, así como constantes campañas del sector salud que fomentan el consumo de alimentos naturales, especialmente frutas y verduras frescas. Sin embargo, hoy sabemos que los alimentos no solo aportan nutrientes básicos (como carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales), sino que también contienen compuestos llamados “bioactivos” capaces de ejercer efectos benéficos adicionales en el organismo.

Entre los compuestos bioactivos, los antioxidantes han adquirido especial relevancia. Su capacidad para neutralizar radicales libres (moléculas reactivas que pueden causar daño celular) no solo es aprovechada para preservar los alimentos, sino que también se ha relacionado con beneficios a la salud, incluyendo la prevención del envejecimiento prematuro. Además, su asocia-

ción científica con la prevención de enfermedades crónico-degenerativas ha impulsado su presencia en el discurso cotidiano, donde términos como “alimentos antioxidantes” combinan ciencia, salud y tendencias (Brunetti 2024).

No obstante, toda tendencia saludable requiere evidencia, por lo que surge una pregunta fundamental: ¿cómo sabemos que esos compuestos realmente están presentes en los alimentos?

La respuesta implica medir: no solo detectar, sino también cuantificar. Saber que un alimento contiene antioxidantes no es suficiente; también es necesario saber en qué cantidad. Esto es importante para valorar su contribución dentro de una dieta equilibrada e influir en la manera en que elegimos y combinamos los alimentos.

Es aquí donde la ciencia, a través del análisis de alimentos tanto naturales como procesados, nos permite tomar decisiones más conscientes e informadas sobre nuestra alimentación, representando un punto de intersección entre salud, industria y calidad de vida.

Considerando lo anterior, este texto revisa los métodos tradicionales utilizados para el estudio de antioxidantes, así como el papel emergente de los nanosensores electroquímicos como una alternativa tecnológica para su análisis.

¿Cómo se miden los antioxidantes?

Antes de abordar cómo se miden, es importante retomar qué son los antioxidantes, ya que, como se mencionó anteriormente, no es posible detectarlos de forma directa. Su medición debe realizarse de manera indirecta, aprovechando su naturaleza química y su estructura molecular.

Algunos antioxidantes nos resultaran muy familiares en la vida cotidiana, como la vitamina C o el ácido cítrico; sin embargo, existen muchos más con estructuras y comportamientos diversos. Lo que todos comparten es su capacidad de participar en reacciones de óxido-reducción (redox), es decir, procesos donde ocurre transferencia de electrones.

En términos simples, los antioxidantes pueden donar electrones, mientras que los radicales libres (moléculas oxidantes altamente reactivas que pueden causar daño celular) tienden a aceptarlos. Esta interacción no solo explica su función biológica "antioxidante", sino que también constituye la base de diversos métodos empleados para su análisis.

Por ello, los métodos analíticos no detectan "antioxidantes" como tal, sino las señales generadas por las reacciones en las que participan. En otras palabras, medir antioxidantes implica diseñar estrategias capaces de interpretar lo invisible a partir de sus efectos.

Ahora sí, respondiendo la pregunta de esta sección: para el análisis de estos compuestos, se han desarrollado distintos métodos analíticos. Sin embargo, es importante resaltar que no todos miden lo mismo ni proporcionan la misma información. Mientras algunos permiten identificar o cuantificar compuestos específicos, otros estiman grupos de sustancias o propiedades químicas asociadas con ellos. Además, su aplicabilidad puede variar según el tipo de muestra, el objetivo y las condiciones del análisis.



Estos métodos pueden agruparse en dos enfoques: aquellos basados en química clásica, más accesibles, pero de sensibilidad limitada, y aquellos instrumentales, que ofrecen mayor detalle analítico, aunque con mayor complejidad (Brunetti 2024).

Dentro del primer grupo se encuentran los métodos químicos, basados en reacciones óxido-reductoras (redox), como las titulaciones. En estos casos, la cuantificación se realiza a partir del volumen de reactivo necesario para completar una reacción, generalmente evidenciada por un cambio de color, como ocurre en la determinación de vitamina C por métodos como la titulación con 2,6-diclorofenolindofenol (DCPIP) o la titulación yodométrica. Son directos, económicos y relativamente fáciles de implementar; sin embargo, su aplicación suele limitarse a compuestos específicos y no son adecuados para sistemas complejos donde coexisten múltiples antioxidantes. Por otro lado, los ensayos químicos con detección espectrofotométrica, como DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) y Folin-Ciocalteu, representan un punto intermedio. Ambos se basan en reacciones químicas que generan cambios de color, los cuales se cuantifican mediante la medición de la absorción de luz usando técnicas espectrométricas.

El ensayo DPPH evalúa la capacidad de una muestra para neutralizar radicales libres, uno de los mecanismos mediante los cuales los antioxidantes ejercen su función. Sin embargo, proporciona una respuesta global de la muestra, por lo que no identifica ni cuantifica compuestos específicos, ni permite por sí solo inferir sus posibles efectos funcionales en el organismo. El método de Folin-Ciocalteu, por su parte, se utiliza para estimar el contenido

de compuestos fenólicos, un grupo importante de antioxidantes presentes principalmente en plantas. Sus resultados suelen expresarse como equivalentes de ácido gálico (utilizado como estándar analítico). Sin embargo, dependiendo del tipo de muestra analizada, otras sustancias con capacidad reductora también pueden contribuir a la señal medida.

En el otro extremo se encuentra el uso de técnicas cromatográficas, como la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), la cual permite separar los componentes de una muestra compleja para que lleguen individualmente a un detector. Con ayuda de una metodología adecuada y la comparación con estándares de referencia, es posible identificar y cuantificar compuestos específicos, entre ellos diversos antioxidantes.

Este contraste muestra que estos métodos son complementarios. Cada uno responde a una pregunta distinta y presenta ventajas y limitaciones propias; por ello, su elección depende de la información que se desea obtener, así como del nivel de detalle y los recursos disponibles.



Limitaciones de los métodos actuales

Aunque estas técnicas han sido fundamentales para el estudio de antioxidantes en alimentos, presentan limitaciones importantes.

Los ensayos químicos y espectrofotométricos, aunque rápidos y accesibles, pueden verse afectados por interferencias, lo que reduce su selectividad y precisión en sistemas complejos.

Por otro lado, las técnicas cromatográficas, si bien son altamente precisas, requieren equipos costosos, personal especializado y tiempos de análisis prolongados. Además, su uso puede resultar poco práctico en aplicaciones que demandan respuestas rápidas, monitoreo continuo o análisis en el sitio de interés.

En la práctica, este tipo de infraestructura no siempre está disponible o resulta poco accesible directamente en el lugar donde se requiere el análisis, como una línea de producción continua, un campo agrícola o un entorno

educativo. Esto puede dificultar la obtención de resultados rápidos y la toma oportuna de decisiones. Lo anterior genera una brecha importante: sabemos mucho sobre los antioxidantes en condiciones controladas, pero no siempre podemos evaluarlos de forma oportuna en situaciones prácticas.

Esta limitación no es menor; restringe la aplicación del conocimiento científico y dificulta su aprovechamiento. Así surge una necesidad clara: contar con herramientas que permitan medir de manera más directa, rápida y accesible, sin comprometer la confiabilidad de los resultados.

Esto conduce a una pregunta clave: ¿es posible medir con suficiente precisión sin depender exclusivamente de infraestructura compleja?

La respuesta se encuentra en la convergencia entre la electroquímica y la nanotecnología, que han dado lugar a una prometedora alternativa, el desarrollo de nanosensores electroquímicos.

Nanosensores electroquímicos: principio y funcionamiento

Ya mencionamos una propiedad clave de los antioxidantes: **pueden donar electrones**.

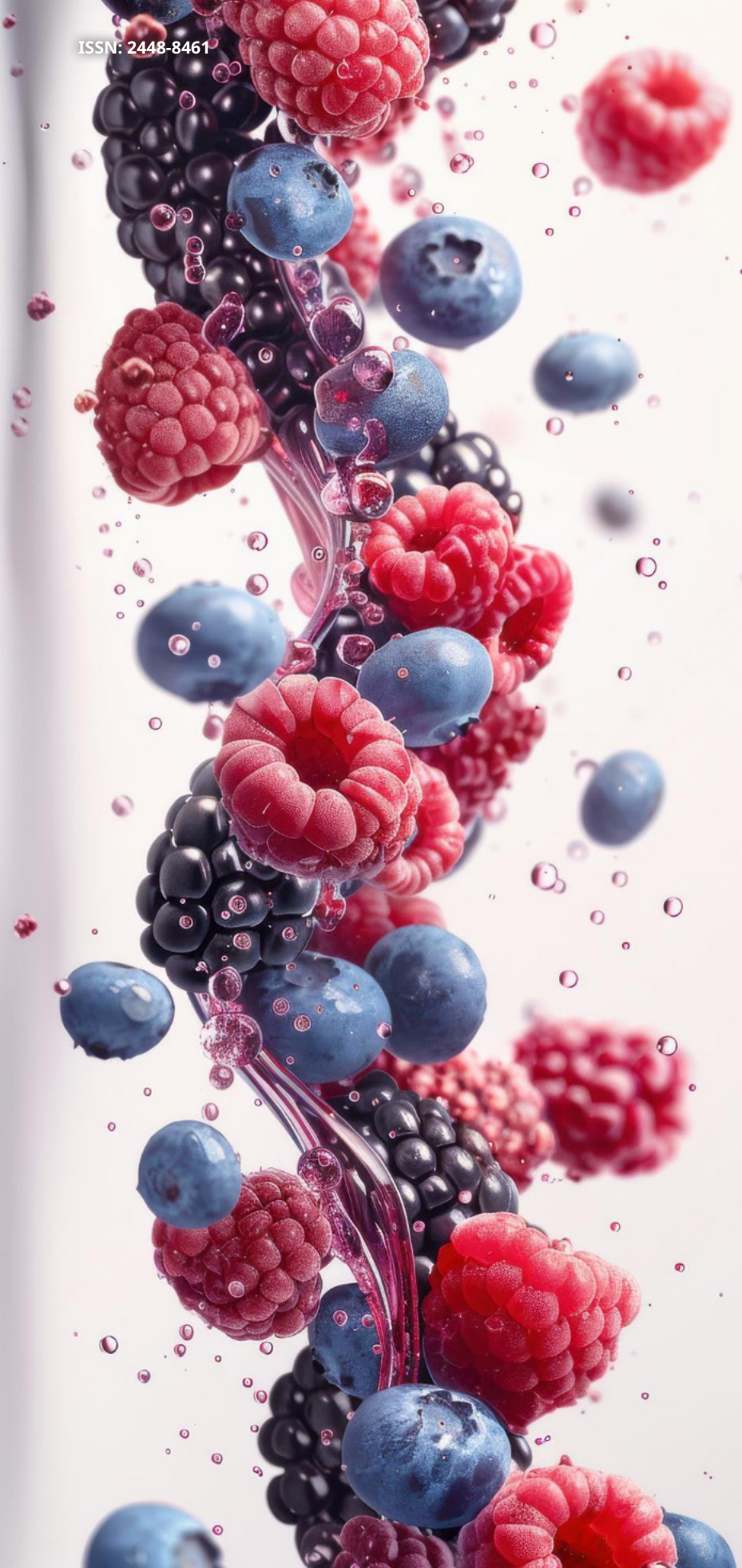
Por lo tanto, si nos enfocamos en observar cómo interactúan sus moléculas con un material conductor, podría surgir un nuevo principio de detección: el principio electroquímico.

Cuando esta interacción ocurre en la superficie de un electrodo conductor (sensor), bajo un campo eléctrico controlado o inducido mediante técnicas electroquímicas como la voltametría, se produce una transferencia de electrones entre la superficie y el antioxidante. Esta corriente o flujo de electrones, aunque no es perceptible para nosotros, genera una señal eléctrica cuya magnitud puede medirse y, mediante una calibración adecuada y el uso de patrones de referencia, relacionarse con la concentración del antioxidante bajo análisis.



En términos simples, una mayor concentración de antioxidante genera una mayor señal eléctrica. Este comportamiento puede describirse mediante relaciones electroquímicas como la ecuación de Randles-Sevcik, que vincula la corriente generada con la concentración del analito en sistemas controlados por difusión, es decir, donde la señal depende de qué tan rápido llegan las moléculas de antioxidante a interactuar con el electrodo.

Así, una reacción química se transforma en una señal eléctrica cuantificable, siendo este el fundamento de detección de los nanosensores electroquímicos. A diferencia de los métodos tradicionales, este enfoque permite una detección rápida, directa y con potencial de miniaturización.



El papel de la nanotecnología en la detección

Ahora abordemos la importancia del prefijo “nano”. El verdadero potencial del enfoque electroquímico se alcanza cuando se combina con la nanotecnología.

Esto se debe a que un mismo material puede comportarse de manera distinta al pasar de la escala macroscópica (visible para nosotros) a la escala nanométrica (millonésimas de milímetro). A estas nuevas y diminutas dimensiones, surgen propiedades que no se observan en el material a mayor escala, como cambios en su reactividad, conductividad, resistencia o interacción con otras moléculas (Curulli 2020). Esta capacidad de modificar el comportamiento de los materiales a partir de su tamaño es una de las bases de la nanotecnología y explica su papel en la actual revolución tecnológica.

Los materiales nanoestructurados, como las nanopartículas, nanohilos, nanotubos, nanoalambres, nanocubos, entre otras morfologías, ofrecen una mayor área de superficie por lo que son más activos en comparación con materiales convencionales. Esto implica un mayor número de sitios disponibles para la interacción con las moléculas, lo que se traduce en señales más intensas y sensibles.

Sin embargo, el efecto de la nanoestructura no se limita al aumento del área superficial. A esta escala, el tamaño y la forma de las estructuras juegan un papel fundamental. Estas características determinan cómo las moléculas se aproximan, interactúan y transfieren electrones en la superficie.

No es lo mismo una superficie plana que una porosa, o formada por nanotubos de mayor longitud ordenados o desordenados: la geometría define la forma en que ocurre la interacción. En

sistemas nanoestructurados, pequeñas variaciones en dimensiones, orientación o distribución pueden modificar significativamente la respuesta electroquímica. Otra ventaja es la posibilidad de diseñar materiales híbridos, combinando distintos componentes para aprovechar la sinergia entre sus propiedades y optimizar la detección.

Por ejemplo, en el desarrollo de nanosensores electroquímicos basados en óxido de titanio (TiO_2), es posible incorporar átomos o nanopartículas de metales de transición como plata, níquel, hierro u oro en un proceso llamado dopaje. Esta combinación permite conservar la estabilidad química y estructural del TiO_2 , mientras que los metales pueden mejorar la conductividad eléctrica y favorecer la transferencia de electrones (Garnica-Romo *et al.* 2024).

Desde una perspectiva experimental, el desarrollo de nanosensores electroquímicos no consiste únicamente en seleccionar un material, sino realizar un correcto diseño de ingeniería. Para esto debemos comprender

cómo su estructura, tamaño, forma y composición determinarían la respuesta de detección. Ya que estos factores influirían directamente en aspectos clave como la sensibilidad, la reproducibilidad y la estabilidad del sistema.

Por ello, el reto no es únicamente detectar antioxidantes, es hacerlo de manera confiable, selectiva y consistente en condiciones reales.

En conjunto, la nanotecnología no solo mejora el desempeño de los sensores electroquímicos, sino que redefine la forma en que se diseñan y se entienden estos sistemas, consolidándolos como una plataforma con alto potencial en el análisis de compuestos bioactivos.

De la investigación al dispositivo portátil

Uno de los aspectos más prometedores de los nanosensores electroquímicos es su potencial para evolucionar desde sistemas de laboratorio hacia dispositivos portátiles. La idea es que, en el futuro, sea posible realizar mediciones tiempo real con herramientas compactas, similares a otros dispositivos de uso cotidiano, como el glucómetro, utilizado para detectar azúcar en sangre mediante el principio electroquímico. Este paso no es inmediato ni sencillo. Implica traducir un sistema complejo en una tecnología accesible, sin perder precisión.

La integración de sensores, electrónica y procesamiento de señal en dispositivos portátiles permitiría realizar análisis en tiempo real y en distintos contextos.



Aplicaciones y alcances

Los nanosensores electroquímicos tienen el potencial de aplicarse en diversos contextos: en la industria alimentaria para la verificación de contenido de compuestos antioxidantes, ya sea en campo para una evaluación rápida de productos frescos, en el hogar para interpretación del valor funcional de los alimentos o en entornos de la educación y emprendimiento como herramientas didácticas y desarrollo tecnológico.

Esta versatilidad los posiciona como una tecnología con impacto potencial en múltiples sectores. No es solo tecnología, es cambio de paradigma y análisis fuera del laboratorio. No se trata de reemplazar métodos, si no ampliar las posibilidades.



Figura 1. Nanosensores electroquímicos como alternativa para la detección de antioxidantes. Imagen generada con ChatGPT (OpenIA).

Retos y perspectivas

A pesar de su potencial, es importante mantener una perspectiva crítica, estos sistemas aún enfrentan desafíos importantes, como la estabilidad a largo plazo, la reproducibilidad y la selectividad en matrices complejas. Además, es necesario avanzar en la estandarización y validación de estos métodos para su aceptación generalizada.

Por ello, los nanosensores electroquímicos deben entenderse como una tecnología en desarrollo, con un alto potencial, pero aún en proceso de consolidación.

Para seguir reflexionando, nos queda el cuestionamiento ¿Será la Inteligencia Artificial la pieza faltante para el total desarrollo conceptual, tecnológico y biotecnológico de los nanosensores?

Retos y perspectivas

Entender lo que comemos no solo depende de elegir bien, sino también de contar con herramientas que nos permitan interpretar esa información.

Los nanosensores electroquímicos proponen una forma distinta de hacerlo: traduciendo interacciones invisibles en señales medibles, y acercando el análisis químico a contextos más cotidianos. Más que reemplazar a los métodos tradicionales, estos sistemas buscan complementarlos, ofreciendo alternativas más accesibles y versátiles para la detección de antioxidantes.

En ese sentido, no solo representan un avance tecnológico, sino también un cambio en la manera en que la ciencia puede integrarse en la vida diaria. Su valor no radica únicamente en la medición de antioxidantes, sino en la capacidad de transformar datos en conocimiento útil que permita tomar decisiones más informadas sobre los alimentos que consumimos.

Agradecimientos

La presentación de este trabajo refleja el desarrollo académico alcanzado durante la formación doctoral en el área de Biotecnología Alimentaria y ha sido posible gracias al respaldo y guía de los académicos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, así como al financiamiento otorgado por SECIHTI.

Nanosensores electroquímicos. Una alternativa para la detección de antioxidantes en alimentos

Referencias

Brunetti B (2024) Electrochemical Sensors and Biosensors for the Determination of Food Nutritional and Bioactive Compounds: Recent Advances, *Sensors* 24: 6588. <https://doi.org/10.3390/s24206588>

Curulli A (2020) Nanomaterials in Electrochemical Sensing Area: Applications and Challenges in Food Analysis. *Molecules*, 25: 5759, <https://doi.org/10.3390/molecules25235759>

Garnica-Romo M G, Mora-Mora Z, Alvarado-Gil, J J, Martínez-Flores H E (2024) Electrochemical nanosensor based on Ag-doped TiO₂ nanotubes for detecting ascorbic acid. *International Journal of Electrochemical Science* 19: 100481. <https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2024.100481>





Plastificantes bajo la lupa: toxicidad y la promesa de la biorremediación

¹Marcia Torres Hernández, ²José Luis Torres García, ²Carlos Guerrero Urrutia, ³Miriam Ahuactzin Pérez, ¹Dora Luz Corona Quintanilla, ²Diana Verónica Cortés Espinosa

¹Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta, Universidad Autónoma de Tlaxcala, La Loma Xicohtencatl, Santa María Acuitlapilco, 90006. Tlaxcala, México.

²Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Tlaxcala. Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla Km. 1.5, C.P. 90700. Tlaxcala, México.

³Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, 90120, Tlax.

Resumen

Los plastificantes como el di(2-etilhexil) ftalato (DEHF), el bisfenol A (BFA) y el bisfenol S (BFS) son compuestos ampliamente utilizados en la fabricación de polímeros cuya creciente producción y uso ha generado una problemática ambiental y sanitaria de alcance global. Estos contaminantes presentan alta persistencia ambiental, capacidad de bioacumulación y biomagnificación, lo que favorece su incorporación en las cadenas tróficas y la exposición continua en humanos, actuando como disruptores endocrinos que provocan efectos adversos sobre la función reproductiva, metabólica, hepática e inmunológica, incluso a bajas concentraciones. Ante esta problemática, la biorremediación emerge como una alternativa sostenible y eficiente para su eliminación en matrices ambientales. Este artículo revisa los principales mecanismos de biomagnificación y toxicidad asociados a DEHF, BFA y BFS, así como las estrategias biotecnológicas empleadas para su degradación, reportando porcentajes de remoción superiores al 90% en diversos sistemas biológicos y destacando el potencial de microorganismos y enzimas específicas como herramientas clave en la mitigación de esta contaminación.

Palabras clave: Plastificantes, biomagnificación, toxicidad y biorremediación



Abstract

Plasticizers such as di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), bisphenol A (BPA), and bisphenol S (BPS) are compounds widely used in polymer manufacturing, whose growing production and use have generated a global environmental and health problem. These contaminants exhibit high environmental persistence, bioaccumulation capacity, and biomagnification, which favors their incorporation into food chains and continuous exposure in humans, acting as endocrine disruptors that cause adverse effects on reproductive, metabolic, hepatic, and immunological functions, even at low concentrations. In response to this issue, bioremediation emerges as a sustainable and efficient alternative for their removal from environmental matrices. This article reviews the main mechanisms of biomagnification and toxicity associated with DEHP, BPA, and BPS, as well as the biotechnological strategies employed for their degradation, reporting removal percentages above 90% in various biological systems and highlighting the potential of microorganisms and specific enzymes as key tools in mitigating this contamination.

Keywords: Plasticizers, biomagnification, toxicity, and bioremediation



Introducción

En el siglo XXI la contaminación por plásticos se ha convertido en un problema mundial de suma importancia, estos se han convertido en uno de los materiales más usados en nuestra sociedad moderna, debido a su flexibilidad, durabilidad, rentabilidad y resistencia (Mabadahanye *et al.* 2025), características que han revolucionado la industria de la odontología, productos para bebés, construcción, entre otras. lo que ha dado lugar a la circulación mundial de la contaminación por estos, incluso en las regiones más remotas (Sharma *et al.* 2025).

En la actualidad no se podría imaginar una vida sin plásticos, aunque el conocimiento sobre el tiempo que estos tardan en degradarse por completo no es del todo conocido (Millet *et al.* 2018). Existen dos clases de polímeros que conforman a los plásticos, los termoplásticos y los termoestables, según su reactividad a la temperatura. Los termoestables tienen la capacidad de reutilizarse o remodelarse después de estar expuestos al calor, contrario a los termoplásticos que no cuentan con esta capacidad (Mabadahanye *et al.* 2025).

Uno de los plastificantes más comunes son los ftalatos, el ejemplo más conocido, el di (2-etilhexil) ftalato (DEHF) que tiene como objetivo, proporcionar flexibilidad, maleabilidad y durabilidad a los plásticos, como el poliéster o el cloruro de polivinilo (Liu *et al.*, 2023). Por otro lado, se encuentran el Bisfenol A (BFA) y el bisfenol S (BFS) que son productos químicos industriales muy utilizados, como monómeros para fabricación del plástico. (Beltifa *et al.* 2017). Estos tres compuestos, son de los productos químicos con mayor volumen de disponibilidad al usarse en botellas, biberones, instrumentación médica, tubería, papel térmico etc. (Figura 1). Las características fisicoquímicas de estos compuestos como su estabilidad química, su afinidad por la materia orgánica, su distinta solubilidad y su capacidad para migrar desde la matriz polimérica debido a que no están unidos covalentemente al plástico favorecen su liberación al ambiente y su distribución en agua, suelo y sedimentos (Ismail *et al.*, 2022). Los principales factores de su liberación se deben a la exposición ambiental a diferentes temperaturas, cambios de pH, exposición a luz UV, el método de procesamiento, entre otras (Figura 1).

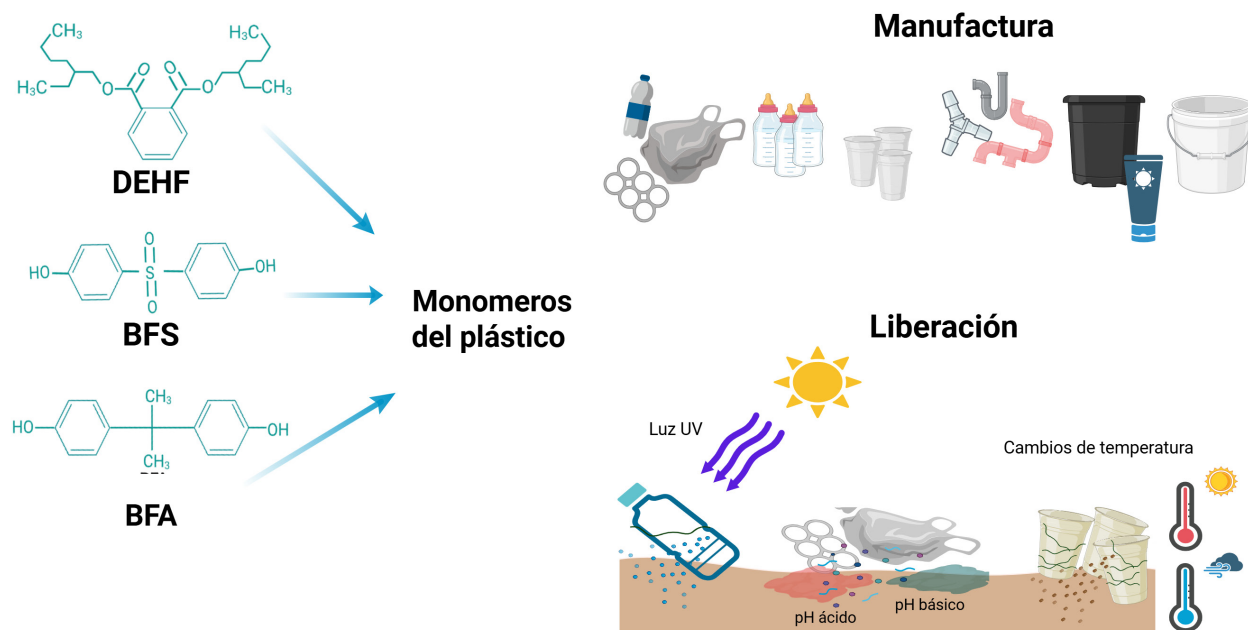


Figura 1. Principales monómeros del plástico, su manufactura y factores de liberación a matrices ambientales. Creación propia

Los plastificantes se convierten en una serie de moléculas más tóxicas que las originales, afectando de manera directa a la matriz ambiental y filtrándose a los productos que almacenan, afectando las poblaciones expuestas (Zeng-Jin *et al.* 2022). La exposición a estos contaminantes ya sea dérmica, oral o inhalatoria, puede causar enfermedades cardiovasculares, efectos negativos en la reproducción y desarrollo, también causa bioacumulación en la unidad materno-fetal-placentaria, daño hepático, disfunción de las células β del páncreas, entre otras (Dallio *et al.*, 2018; Štefunková *et al.*, 2024; Lesser *et al.*, 2018). Al ser un problema ambiental, social y de salud, se buscan tecnologías de eliminación, como la biorremediación. Investigaciones recientes sugieren que la biodegradación es el método más prometedor para eliminar los plastificantes y polímeros del plástico del ambiente. La biodegradación tiene ventajas de bajo costo, baja contaminación secundaria y la idoneidad para la reparación *in situ* a gran escala (Kou *et al.*, 2023).

Biomagnificación

La biomagnificación es el proceso por el cual la concentración de compuestos químicos aumenta progresivamente en un organismo, acumulándose en el organismo debido a su persistencia, difícil degradación, la dinámica ascendente en la cadena trófica y el flujo del compuesto tóxico (Uddin *et al.*, 2021). En este contexto, la exposición a compuestos tóxicos como los plastificantes genera consecuencias graves en la salud de los seres vivos, ya que pueden ser absorbidos y dispersarse fácilmente. Lo que provoca disfunciones corporales, bioacumulación relacionada con la edad y biomagnificación en las redes tróficas, alcanzando concentraciones más elevadas (Sharma *et al.*, 2024).

Existe la exposición generalizada de plastificantes a partir de diversas fuentes, Se conocen tres fuentes de exposición con humanos que puede ser a través de vía oral por el consumo de alimentos y bebidas contaminadas, absorción cutánea por el uso de productos de cuidado personal, materiales de construcción y dispositivos médicos (Sieck *et al.*, 2024; Goyal *et al.*, 2024). contacto prolongado a los plastificantes, por exposición ocupacional e inhalación de partículas en el aire (Figura 2), exposiciones que pueden repercutir a nivel fetal durante el proceso de gestación (Shah *et al.*, 2024; Sharma *et al.*, 2024).



Los rayos solares y la alcalinidad o acidez del ambiente hacen que los vertederos se calienten, liberando BFA al ambiente, donde migra a través de los horizontes del suelo y se lixivia en los acuíferos y aguas subterráneas (Figura 2) (Aziz *et al.*, 2018). La presencia de este contaminante en el suelo no solo impacta en la infertilidad, sino, en funciones específicas de un ecosistema, al reducir la diversidad y la actividad del microbioma del suelo, además, aumenta el riesgo para la salud de los cultivos a través de la bioacumulación (Hu *et al.*, 2023). El BFA también se bioacumula en los consumidores primarios al alimentarse de productos que previamente acumularon BFA en sus tejidos, en el cuerpo humano, el BFA se incorpora a través del consumo de carne, leche u otros subproductos (Figura 2) (Torres-García *et al.*, 2022).

Estos contaminantes son un tóxico-emergente y de gran preocupación; ya que tienen la capacidad de bioconcentrarse, lo que se define como la capacidad para aumentar progresivamente su concentración en células o tejidos y de esta manera provocar daños en la salud y el ambiente (Lesser *et al.*, 2018).

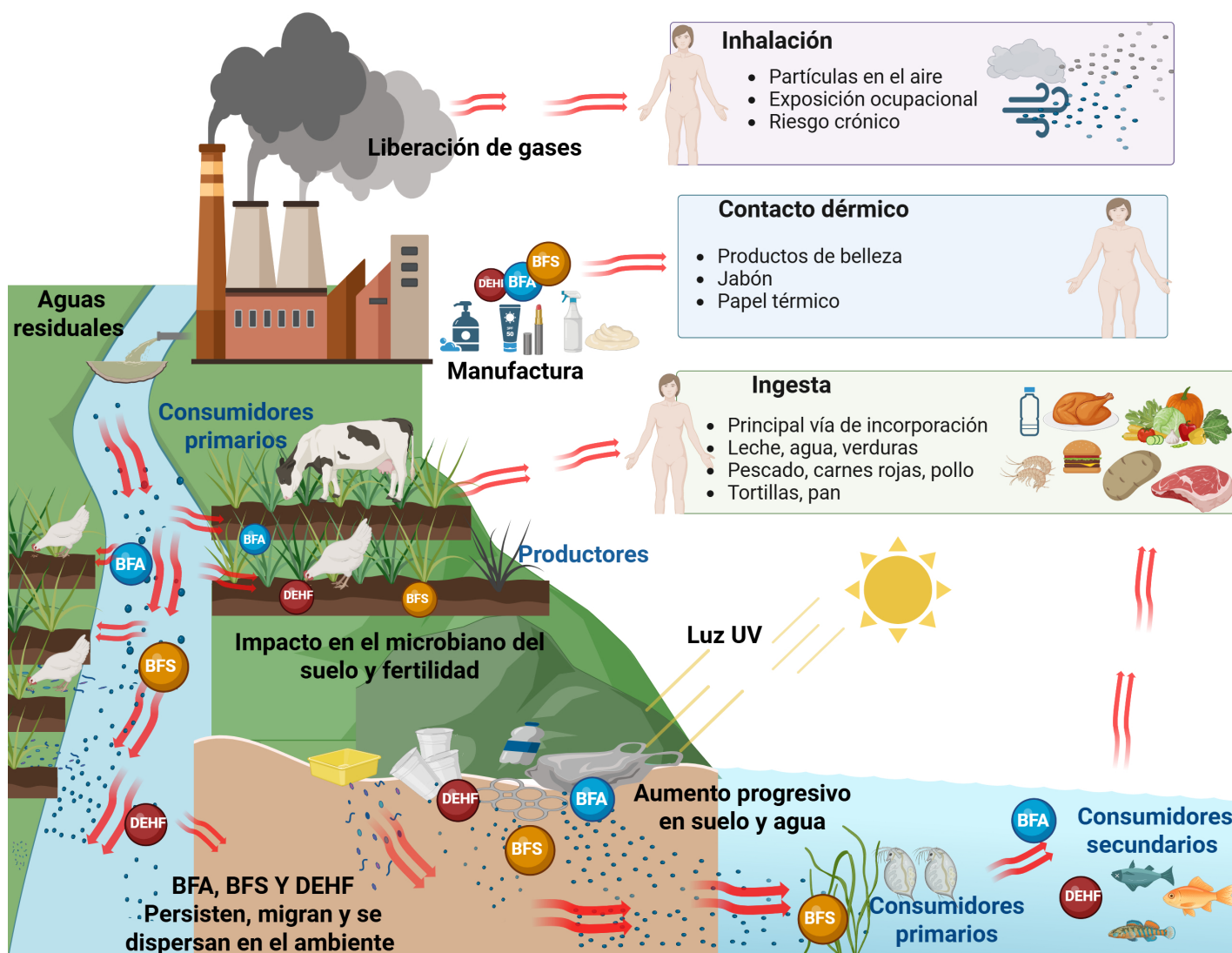


Figura 2. Biomagnificación de los plastificantes (BFA, BFS y DEHF) y vías de exposición humana. Creación propia

Toxicidad de plastificantes

La toxicidad potencial de los plastificantes y sus posibles sustitutos es un problema de gran magnitud. Se sabe que los plastificantes tienen efectos adversos en la salud humana, debido a la exposición a productos que contienen estos contaminantes, incluso a bajas concentraciones, pues se ha confirmado la detección de sus metabolitos en los fluidos y tejidos corporales (leche materna, sangre, orina, semen) (Kumari et al., 2020; Liu *et al.*, 2019; Carolina de Almeida *et al.*, 2023). Los plastificantes y sus polímeros están clasificados como disruptores endocrinos, ya que estos son de naturaleza xenostrogénica y pueden unirse a receptores hormonales específicos o interfieren en el metabolismo de estos.

Con respecto a su toxicidad específica (Figura 3), el DEHF es un contaminante potencialmente tóxico para la reproducción, ya que inhibe la síntesis de testosterona en los testículos y afecta el desarrollo de los órganos reproductores masculinos (Liu *et al.*, 2019). Resultados *in vitro* han reportado que pueden afectar las funciones de las células espermáticas y directamente a los embriones, ya que afecta el desarrollo y función de la placenta, reduciendo el transporte de nutrientes y oxígeno, irritación ocular por la exposición a vapores o polvos, y cambios constituyentes en las células sanguíneas por el aumento en la fragilidad hemolítica (De Almeida *et al.*, 2023). Por otro lado, la materia prima de los plásticos, los bisfenoles, en específico

el BFA es uno de los polímeros más estudiados. Este contaminante es clasificado como mutagénico, con capacidad para causar metilación del ADN; inmunotóxico, ya que puede alterar el balance entre linfocitos T reguladores y linfocitos T efectores, lo que genera respuestas exageradas; y hepatotóxico, ya que favorece la acumulación de lípidos dentro de los hepatocitos (hígado graso no alcohólico) (Figura 3) (Ruberto *et al.*, 2022). Tiene actividad estrogénica mostrando otros modos de acción, al producir daño hepático, disrupción de la función de las células β del páncreas, disrupción de la tiroides para producir la hormona tiroidea y aumento de peso, que promueve la obesidad (Lesser *et al.*, 2018). De la misma forma puede causar problemas cardiovasculares, problemas reproductivos, problemas con el desarrollo de la glándula mamaria, baja producción de espermatozoides, restricción del crecimiento fetal, ansiedad y depresión (Štefunková *et al.*, 2024).

El BFS, análogo del BFA, contribuye a la alteración endocrina general, ya que la activación de estos receptores afecta a la expresión de ciertas enzimas implicadas en el metabolismo de las hormonas endógenas (Kodila *et al.*, 2023). Investigaciones recientes han revelado cuestiones controvertidas sobre los mecanismos tóxicos del BFS, especialmente en mujeres embarazadas y lactantes, así como inducción de la muerte celular apoptótica mediada por la caspasa-3 de las células MRC5 y BEAS-2B del epitelio bronquial humano (Abouhamzeh *et al.*, 2023). Los análogos como el BFS y el BFF promueven la acumulación de grasa en los adipocitos, así como la homeostasis de la glucosa y la insulina en roedores, también promueven efectos obesogénicos de una manera más elevada que el propio BFA (Figura 3) (Alharbi *et al.*, 2022). Por estas razones, las investigaciones centradas en la degradación de plastificantes también se han centrado en buscar estrategias de biorremediación para la eliminación de estos dos análogos del BFA.

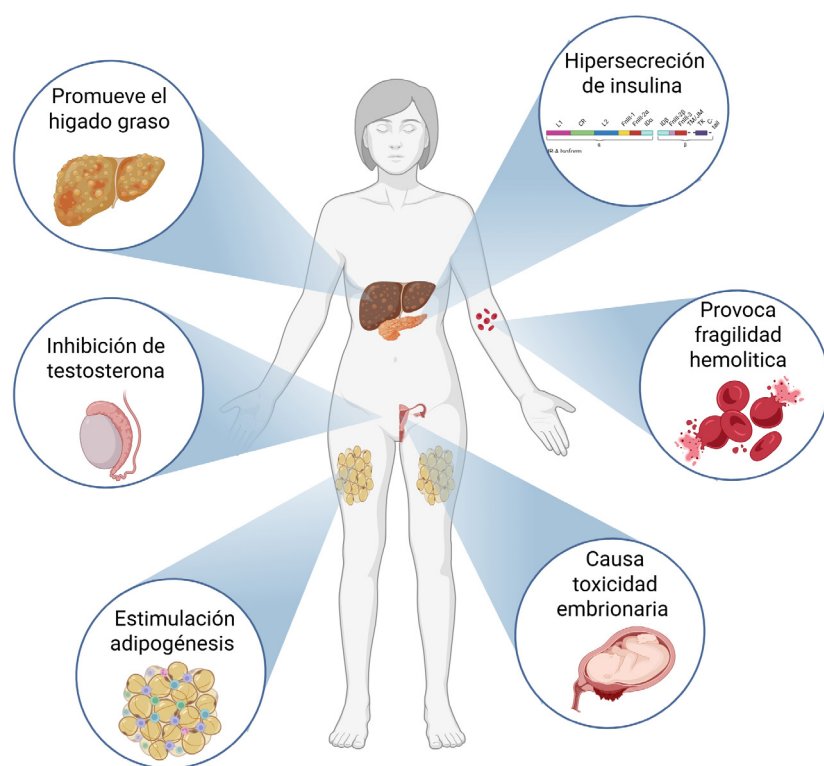


Figura 3. Toxicidad específica de plastificantes (BFA, BFS, DEHF) en la salud humana. Creación propia

Tecnologías de biorremediación

Debido a la contaminación, la biomagnificación y la toxicidad de los plastificantes se han buscado soluciones sostenibles como la biorremediación. Los métodos disponibles para la remediación pueden agruparse en tres categorías: químicos, físicos y biológicos.

La remediación química es un método que puede ofrecer alternativas rápidas y agresivas que no son sensibles a la concentración del contaminante y pueden ofrecer un tratamiento alternativo para superar algunas limitaciones de la biorremediación. El método químico implica la aplicación de productos químicos en el proceso de remediación del suelo y puede realizarse *in situ* o *ex situ*, incluye el aumento químico, la lixiviación química y la oxidación.

La remediación física, utiliza barreras físicas y mecánicas para aislar, recuperar y separar los contaminantes. Este tipo de método incluye, el recubrimiento, la sustitución del suelo, el lavado del suelo y la desorción térmica. Presentan limitaciones fisicoquímicas relacionadas con la distribución de los contaminantes, la sorción, la transferencia de masa y el suministro, mezcla de residuos y catalizadores (Sharma *et al.*, 2024).

La remediación biológica o biorremediación aprovecha la capacidad metabólica de diferentes organismos (plantas, algas, bacterias, hongos o levaduras) para descomponer, transformar o degradar compuestos químicos tóxicos o inertes, como los plastificantes. Se define como un proceso que utiliza organismos vivos o su catálisis para incrementar la velocidad o el alcance de la destrucción de contaminantes, constituyendo un componente viable dentro de la tecnología de gestión de residuos peligrosos, cuyo objetivo principal es reducir la exposición de los organismos y de los entornos receptores a los efectos adversos de los contaminantes ambientales. De este modo, ofrece una alternativa económica,

eficiente y natural en comparación con los métodos físicos o químicos convencionales (Tabla 1) (Romero Silva, 2025).

La biorremediación puede aplicarse directamente en el sitio contaminado (*in situ*) o fuera de él (*ex situ*), dependiendo de las características del contaminante y de la matriz afectada. Esta tecnología comprende diversas estrategias biológicas, entre ellas la fitorremediación, la micorremediación y la remediación microbiana, que han demostrado ser alternativas sostenibles para la remoción de contaminantes debido a su menor impacto ambiental, menor costo operativo y elevada eficiencia frente a diversos compuestos

	Ventajas	Desventajas
Químicas	• Alternativas rápidas y agresivas. • No es sensible a la concentración del contaminante.	• Aplicación de productos químicos, impactos secundarios. • Subproductos no deseados. • Mayores costos operativos
Físicas	• Utiliza barreras físicas y mecánicas para aislar. • Contención inmediata del contaminante.	• Problemas asociados a la sorción y transferencia de masa. • Limitaciones en el suministro y mezcla de residuos y catalizadores.
Biológicas	• Aprovecha la capacidad metabólica de microorganismos (plantas, algas, bacterias, hongos o levaduras). • Incrementa la velocidad o el alcance de la destrucción de contaminantes. • Alternativa económica, eficiente y natural. • Reduce la exposición de organismos y entornos receptores a contaminantes.	• Puede ser más lenta en comparación con métodos químicos agresivos. • Requiere condiciones ambientales adecuadas.
Tecnologías de remediación		

Tabla 1. Ventajas y desventajas de tipos de biorremediación

orgánicos. (Sales da Silva et al., 2020). De manera particular, la biorremediación basada en microorganismos ha adquirido gran relevancia por su diversidad metabólica de bacterias y hongos, capaces de transformar, gradar e incluso mineralizar contaminantes orgánicos complejos. Como resultado, numerosas investigaciones se han enfocado en el aislamiento y caracterización de cepas de alto potencial degradador, sentando las bases para el desarrollo de procesos biológicos cada vez más eficientes.

Uso de microorganismos en biorremediación

Las aplicaciones de la tecnología de biorremediación implican la interacción entre diferentes grupos de microorganismos. En estos casos, la comunidad microbiana actúa como el agente activo del sistema, y el proceso se centra en optimizar su capacidad catalítica.

Esta actividad biocatalítica puede lograrse mediante la estimulación de la población microbiana autóctona o mediante la introducción de organismos con funciones catabólicas específicas. La selección de la comunidad microbiana adecuada dependerá de la naturaleza química y física del contaminante, así como del compartimento ambiental en el que se encuentre (Alidoosti et al., 2024).

Existe el uso de enzimas como las esterasas, lignina peroxidasa, el citocromo P450, citocromo c oxidasa de tipo cbb3, lacasas y manganoso peroxidasa, que se han reportado por su participación específica dentro del proceso de degradación de diversos plastificantes (Shah et al., 2024; Wang et al., 2022; Tian et al., 2024; Liu et al., 2023).

En los últimos años, se ha descrito una amplia diversidad de microorganismos capaces de degradar plastificantes específicos, como DEHF, mono di (2-etilhexil) ftalato (MEHF), BFA y BFS. Para lograr esto las cepas pueden emplear desesterificación, hidrolización, betaoxidación de las cadenas laterales alquílicas, oxidación-reducción, desmetilación, biotransformación, hidroxilación, deshidratación, deshidrogenación, carboxilación, para degradar los compuestos. (Shah et al., 2024; Wang et al., 2022; Liu et al., 2023).



Las cepas individuales junto con los consorcios bacterianos y los factores abióticos facilitan la mineralización, asimilación, despolimerización y fragmentación de los residuos plásticos del ambiente en dióxido de carbono, nitrógeno, metano, monómeros, dímeros, oligómeros y agua (Agarwal *et al.*, 2024). Algunos microorganismos usados como cepa individual o en consorcios bacterianos se enlistan en la Tabla 2, donde se

Menciona el tipo de plastificante que se evaluó para la biorremediación de cada compuesto con cada cepa en específico. Esta información es el sustento en donde la biorremediación con base en microorganismos beneficia enormemente a la eliminación de contaminantes de las matrices ambientales, disminuye la presencia de estos y logra degradarlas en compuestos menos tóxicos para los humanos.

Plastificante	Microorganismos	% Degradación / Remoción	Condiciones reportadas	Referencia
DEHF	<i>Rhodococcus pyridinivorans</i> , <i>Gordonia sp</i> , <i>Microbacterium sp.</i>	92–98%	92–98%	Shah et al., 2024
DEHF	<i>Aspergillus nidulans</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Rizopus nigricans</i>	Orina (20 días): 91.7%, 88.2%, 90.9%. Sangre (20 días): 55.0%, 50.0%, 54.5%	20 días	Ali et al., 2023
DEHF	<i>Mycolicibacterium sp.</i>	100%	52 h	Bhattacharyya et al., 2023
BFA	<i>Phanerochaete sordida</i> YK-624	100% por ciclo (≥9 ciclos)	12 h por ciclo	Wang et al., 2022
BFA	<i>Pseudomonas asiatica</i> P1	96.89%	120 h	Tian et al., 2024
BFA	<i>Myrothecium roridum</i>	92% (con CuSO4)	48 h	Jasińska et al., 2021
BFA	<i>Trametes hirsuta</i> La-7	85.71% (in vitro)	6 h	Liu et al., 2023
BFA	<i>Paraconiothyrium Brasiliense</i> HMA1	100%	10 días	Eltoukhy et al., 2023
BFS	<i>Phlebia acerina</i> S-LWZ20190614-6	96.2%	7 días	Chang et al., 2025

Tabla 2. Bacterias y hongos utilizados como degradadores de plastificantes como BFA, DEHF y BFS.

Conclusión

La persistencia y amplia distribución de plastificantes como ftalatos y bisfenoles en ambientes antropizados representa un problema ambiental y sanitario significativo, debido a su capacidad de bioacumularse y biomagnificarse, así como por sus efectos negativos sobre la salud humana incluso a bajas concentraciones. En este contexto, la biorremediación emerge como una alternativa viable, eficiente y sostenible para la mitigación de estos compuestos, al aprovechar procesos biológicos que degradan los contaminantes en productos menos tóxicos. Las estrategias *in situ* y *ex situ*, junto con el uso de microorganismos y enzimas específicas, muestran alto potencial para restaurar matrices ambientales afectadas por plastificantes, subrayando la importancia de continuar desarrollando enfoques biotecnológicos para enfrentar la contaminación por estos compuestos.

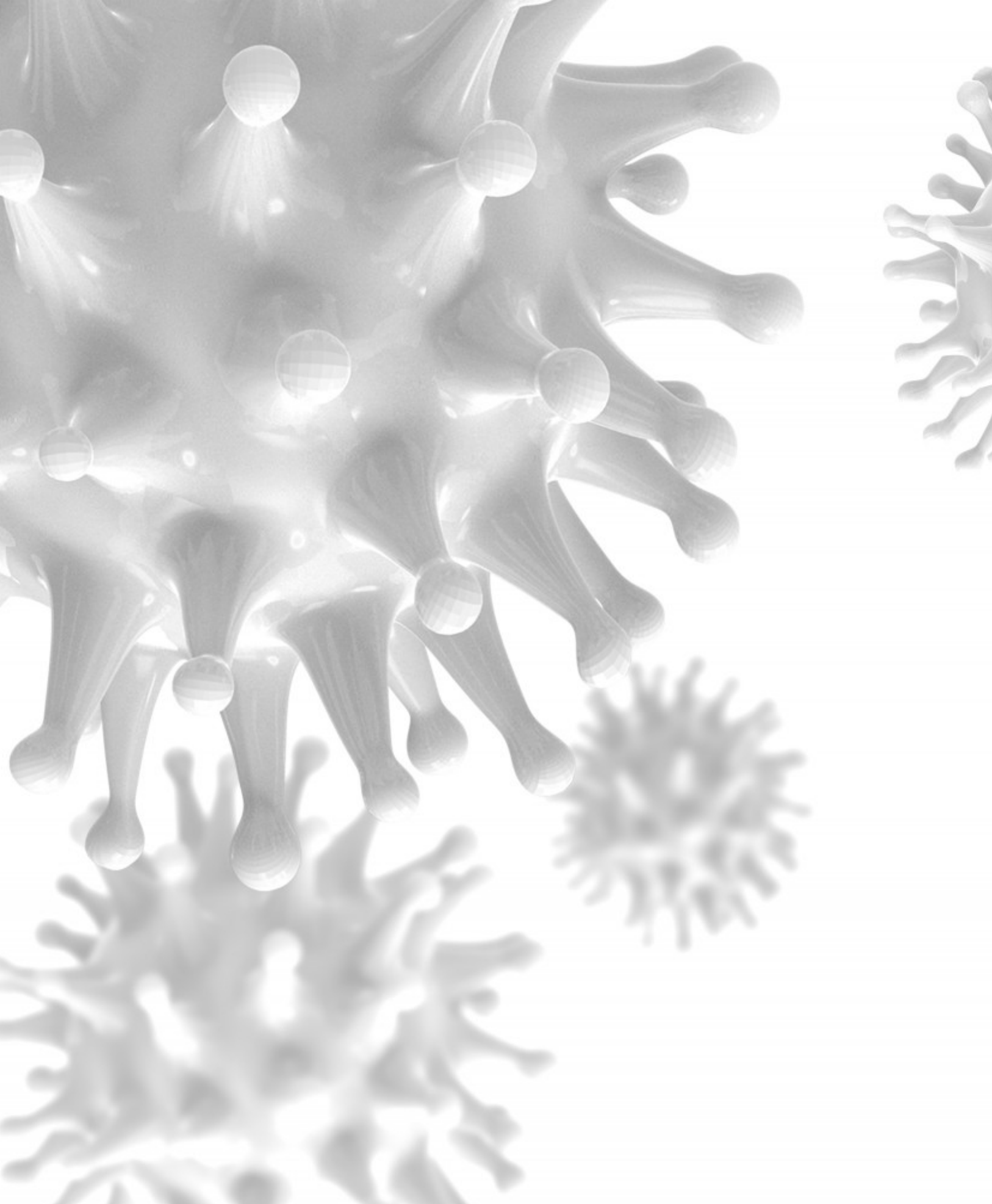
Agradecimientos

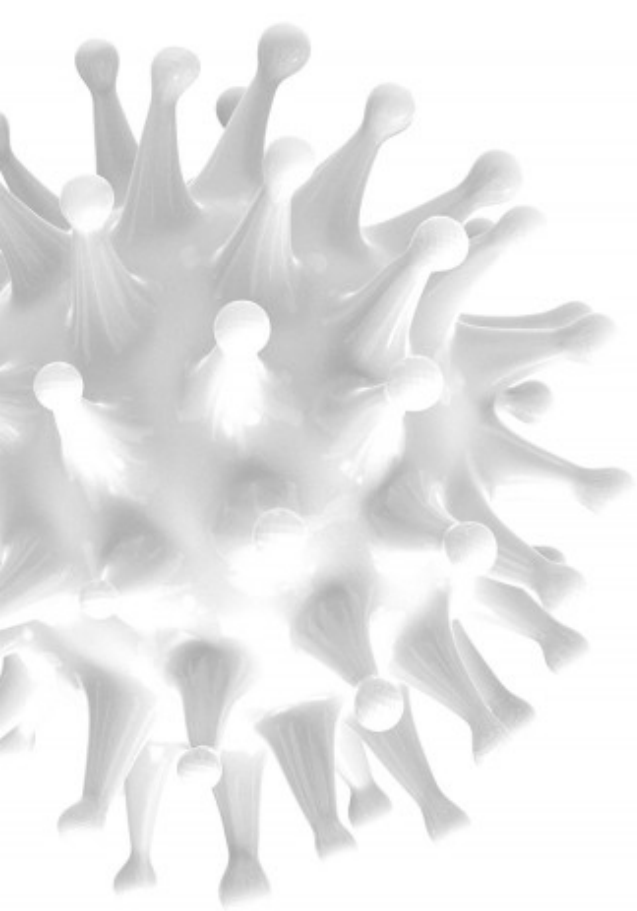
Agradecemos a la SECIHTI por la beca otorgada a MTH con número 1007872 y al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento al proyecto multidisciplinario SIP 20242067.

Plastificantes bajo la lupa: toxicidad y la promesa de la biorremediación

Referencias

- Abouhamzeh B, Zare Z, Mohammadi M, Moosazadeh M, Nourian A (2023) Bisphenol S influence on oxidative stress and endocrine biomarkers of reproductive system: A systematic review and meta analysis. *International Journal of Preventive Medicine*, 14.
- Agarwal T, Atray N, Sharma J (2024) Microbial bioremediation strategies for sustainable mitigation of plastic pollution. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 10.
- Alharbi F, Algonaiman R, Alduwayghiri R, Aljutaily T, Algheshairy M, Almutairi S, Alharbi M, Alfurayh A, Alshahwan A, Alsadun F, Barakat H (2022) Exposure to bisphenol A substitutes, bisphenol S and bisphenol F, and its association with developing obesity and diabetes mellitus: A narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19.
- Ali M, Abdel-Rahman A, Ali I (2023) Fungal bioremediation of di-2-ethylhexyl phthalate. *Iranian Journal of Science and Technology*, 47.
- Alidoosti F, Giyahchi M, Moien S, Moghimi H (2024) Unlocking the potential of soil microbial communities for bioremediation of emerging organic contaminants: omics-based approaches. *Microbial Cell Factories*, 23.
- Aziz A, Agamuthu P, Fauziah S H (2018) Removal of bisphenol A and 2,4-Di-tert-butylphenol from landfill leachate using plant-based coagulant. *Waste Management & Research*, 36.
- Beltifa A, Feriani A, Machreki M, Ghorbel A, Ghazouani L, Di Bella G, Van Loco J, Reynolds T, Mansour H B (2017) Plasticizers and bisphenol A in packaged foods sold in the Tunisian markets: Study of their acute in vivo toxicity and environmental fate. *Environmental Science and Pollution Research*, 24.
- Chang M, Jiang H, Wang J, Yin R, Li Q, Wang N, Xiao P, Zhou L W, Xiao T (2025) Efficient degradation of bisphenol S by *Phlebia acerina*. *Bioresource Technology*, 418.
- Dallio M, Masarone M, Errico S, Gravina G, Nicolucci C, Di Sarno R, Federico A (2018) Role of bisphenol A as environmental factor in the promotion of non-alcoholic fatty liver disease: In vitro and clinical study. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 47.
- de Almeida M, Machado M, Costa G, Santos L, de Souza A, de Carvalho R (2023) Influence of different concentrations of plasticizer diethyl phthalate on toxicity. *Heliyon*, 9.
- Eltoukhy A, Mohamed H, Hassan S E D, El-Naggar N E A (2025) Biodegradation and mineralization of bisphenol A by *P. brasiliense*. *Journal of Hazardous Materials*, 488.
- Goyal S P, Agarwal T, Mishra V, Verma A, Singh R (2024) Adsorption characterization of *Lactobacillus* sp. for di-(2-ethylhexyl) phthalate. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 16.
- Hu R, Liu S, Zhao H, Wang Y, Zhang J, Chen Q (2023) Temporal microbial succession drives phase-dependent kinetics of di(2-ethylhexyl) phthalate biodegradation in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 59.
- Ismail G A, Sakai H (2022) Bisphenol A in the environment and recent advances in biodegradation by fungi. *Chemosphere*, 291.
- Jasińska A, Soboń A, Rózalska S, Średnicka P (2021) Bisphenol A removal by the fungus *M. roridum*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22.
- Kodila A, Franko N, Sollner Dolenc M A (2023) Review on immunomodulatory effects of BPA analogues. *Archives of Toxicology*, 97.
- Kou L, Chen H, Zhang X, Liu S, Zhang B, Zhu H (2023) Biodegradation of di(2-ethylhexyl) phthalate by a new bacterial consortium. *Water Science and Technology*, 88.
- Kumari A, Kaur R (2020) A review on morpho-physiological traits of plants under phthalates stress. *Plant Growth Regulation*, 91.
- Lesser L, Mora A, Moreau C, Mahlknecht J, Hernández-Antonio A, Ramírez A, Barrios-Piña H (2018) Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system, Mezquital Valley, Mexico. *Chemosphere*, 198.
- Liu J, Sun K, Zhu R, Wang X, Waigi G, Li S (2023) Biotransformation of bisphenol A in vivo and in vitro by laccase-producing *Trametes hirsuta* La-7: Kinetics, products, and mechanisms. *Environmental Pollution*, 321.
- Liu Y, Tang B, Liu Y, Luo X, Mai B, Covaci A, Poma G (2019) Occurrence, biomagnification and maternal transfer of organophosphorus flame retardants and plasticizers. *Environment International*, 133.
- Mabadahany K, Dalu M, Munyai L, Dondofema F, Dalu T (2025) Perceptions and knowledge of water and wastewater treatment plant workers regarding plastic pollution and removal. *Sustainability*, 17.
- Millet H, Vangheluwe P, Block C, Sevenster A, Garcia L, Antonopoulos R (2018) The nature of plastics and their societal usage. *United Nations Development Programme*.
- Romero-Silva R (2025) Biorremediación, tecnología sostenible en la gestión de residuos y la contaminación por hidrocarburos. *Centro Azúcar*, 52.
- Ruberto S, Santovito A, Simula E, Murru R, Deidda F, Loi M, Banni S (2022) Bisphenols induce human genomic damage. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 63.
- Sales da Silva I, Gomes de Almeida F, Padilha da Rocha e Silva N, Casazza A, Converti A, Asfora Sarubbo L (2020) Soil bioremediation: Overview of technologies and trends. *Energies*, 13.
- Shah A, Malhotra H, Papade E, Dhamale T, Ingale P, Kasarlawar T, Phale S (2024) Microbial degradation of contaminants of emerging concern: Metabolic, genetic and omics insights for enhanced bioremediation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12.
- Sharma E, Ramachandran A, Dobriyal P, Badola S, Koldewey H, Hussain A, Badola R (2025) Mapping the distribution and discharge of plastic pollution in the Ganga River. *Sustainability*, 17.
- Sharma K, Nayarisseri A, Singh S K (2024) Biodegradation of plasticizers by novel strains of bacteria isolated from plastic waste near Juhu Beach, Mumbai, India. *Scientific Reports*, 14.
- Sieck E, Bruening M, van Woerden I, Whisner C, Payne-Sturges C (2024) Effects of behavioral, clinical, and policy interventions in reducing human exposure to bisphenols and phthalates: A scoping review. *Environmental Health Perspectives*, 132.
- Štefunková N, Greifová H, Jambor T, Tokárová K, Zuščíková L, Bažány D, Massányi P, Capcarová M, Lukáč N (2024) Comparison of the effect of BPA and related bisphenols on membrane integrity, mitochondrial activity, and steroidogenesis of H295R cells in vitro. 14.
- Tian K, Gu J, Wang Y, Li H, Zhang L, Chen X (2024) Removal of BPA by *P. Asiatica* P1. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 288.
- Torres-García J L, Ahuatzin-Pérez M, Fernández F, Cortés-Espinosa D (2022) Bisphenol A in the environment and recent advances in biodegradation by fungi. *Chemosphere*, 303.
- Ucheana I, Ihedioha J, Njoku J, Okoye C, Oguejiokor C (2024) Migration of bisphenol A from epoxy-can malt drink. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 104.
- Uddin N, Desai F, Asmatulu E (2021) Review of bioaccumulation, biomagnification, and biotransformation of engineered nanomaterials. *Nanotoxicology and Nanoeotoxicology*, 67.
- Wang J, Xie Y, Hou J, Li X, Zhang Y, Chen H (2022) Biodegradation of bisphenol A by alginate immobilized *P. chrysosporium* beads. *Biochemical Engineering Journal*, 177.
- Zeng-Jin W, Zhong-Yu W, Ying-Feng Z (2022) Adverse cardiovascular effects and potential molecular mechanisms of DEHP and its metabolites: A review. *Science of the Total Environment*, 847.





Bacteriocinas: armas naturales contra bacterias y aliadas en la salud y la alimentación

Claudia López-Sánchez¹, Felipe de Jesús Palma-Cruz², Adriana Palacios Jauri²

Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Oaxaca. ¹Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. ²División de Estudios de Posgrado e Investigación. Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125, esquina Calzada Tecnológico, C.P 68030. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

Claudia López Sánchez claudia.lopez@itoaxaca.edu.mx

Felipe de Jesús Palma Cruz pcruz@itoaxaca.edu.mx

Adriana Palacios Jauri m24160076@itoaxaca.edu.mx

Autor de correspondencia: claudia.lopez@itoaxaca.edu.mx

Resumen

Las bacteriocinas son péptidos antimicrobianos producidos principalmente por bacterias ácido-lácticas, y su importancia se extiende más allá de la conservación de alimentos. En la industria farmacéutica, las bacteriocinas se investigan como alternativas innovadoras a los antibióticos convencionales, especialmente para combatir infecciones causadas por bacterias resistentes. Su capacidad para inhibir microorganismos patógenos sin afectar negativamente la microbiota benéfica las convierte en candidatas ideales para el desarrollo de nuevos medicamentos. Además, se exploran aplicaciones en la formulación de productos tópicos para tratar infecciones cutáneas, en la elaboración de recubrimientos antimicrobianos para dispositivos médicos y en terapias combinadas con probióticos para potenciar la salud intestinal, así como su papel emergente como psicobióticos en la modulación del eje intestino-cerebro. El potencial de las bacteriocinas en la farmacéutica también incluye su uso en la prevención de infecciones hospitalarias y en el diseño de tratamientos personalizados, contribuyendo así a la seguridad y eficacia de los procedimientos médicos. Asimismo, los fermentados tradicionales, como el mezcal, se revelan como fuentes inexploradas de cepas bacteriocinógenas, mientras que la nanotecnológica y los biopolímeros amplían sus aplicaciones biotecnológicas. En resumen, las bacteriocinas representan una herramienta prometedora para enfrentar los retos actuales de la resistencia antimicrobiana y mejorar la calidad de la atención médica y la seguridad alimentaria.

Palabras clave: Bacteriocinas, bacterias ácido-lácticas, bioconservación, resistencia antimicrobiana, biotecnología.



Abstract

Bacteriocins are antimicrobial peptides produced primarily by lactic acid bacteria, and their importance extends beyond food preservation. In the pharmaceutical industry, bacteriocins are being investigated as innovative alternatives to conventional antibiotics, especially to combat infections caused by resistant bacteria. Their ability to inhibit pathogenic microorganisms without negatively affecting the beneficial microbiota makes them ideal candidates for the development of new drugs. In addition, applications are explored in the formulation of topical products to treat skin infections, in the development of antimicrobial coatings for medical devices, and in combination therapies with probiotics to enhance gut health, as well as their emerging role as psychobiotics in modulating the gut-brain axis. The potential of bacteriocins in the pharmaceutical industry also includes their use in the prevention of nosocomial infections and in the design of personalized treatments, thus contributing to the safety and efficacy of medical procedures. Furthermore, traditional fermented beverages, such as mezcal, emerge as unexplored sources of bacteriocinogenic strains, while nanotechnology and biopolymers expand their biotechnological applications. In summary, bacteriocins represent a promising tool to address the current challenges of antimicrobial resistance and improve the quality of medical care and food safety.

Keywords: Bacteriocins, lactic acid bacteria, biopreservation, antimicrobial resistance, biotechnology.



Introducción

Las bacterias ácido-lácticas (BAL), son microorganismos presentes en bebidas fermentadas, productoras de péptidos antimicrobianos conocidos como bacteriocinas que utilizan para contender con otras especies. Estas moléculas han demostrado un notable potencial como agentes antimicrobianos frente a bacterias multirresistentes, e incluso contra especies fúngicas, virales y estructuras complejas como las biopelículas bacterianas (Cintas et al., 2001; Simons et al., 2020).

En la industria alimentaria actualmente, las bacteriocinas se emplean en una extensa variedad de alimentos, tales como productos cárnicos, lácteos, enlatados, productos del mar, vegetales, jugos de frutas y bebidas como cerveza y vino, convirtiéndose en componentes clave para garantizar la inocuidad y prolongar la vida útil de los alimentos.

Descubiertas hace casi un siglo, las bacteriocinas siguen generando gran interés por su capacidad para inhibir microorganismos patógenos. Su eficacia y seguridad las posicionan como una alternativa prometedora frente a los conservantes químicos y los antibióticos tradicionales, lo que representa un avance significativo en la protección de la salud y la innovación alimentaria (Balciunas et al., 2013). Las bacteriocinas derivadas de bacterias ácido-lácticas (BAL) cuentan con el estatus *Generally Regarded As Safe* (GRAS, Generalmente Reconocidas como Seguras) otorgado por la FDA. Al ser degradadas con facilidad por enzimas proteolíticas del tracto gastrointestinal, se consideran inocuas para el consumo humano (Simons et al., 2020; El-Sayed et al., 2023)

No obstante, su aplicación industrial enfrenta ciertos retos, como su producción y purificación que podrían ser de alto costo e impacta en el número de bacteriocinas obtenidas y homogeneidad (Hernández Figueroa et al., 2024). Algunas bacteriocinas presentan un espectro antimicrobiano pequeño, lo que puede limitar su eficacia frente a una amplia gama de patógenos (El-Sayed et al., 2023). Esas desventajas pueden enmendarse, y ampliar su espectro de acción, para incluir patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* (Revutskaya et al., 2024), combinando las bacteriocinas con otros tratamientos emergentes en la industria alimentaria, como sustancias químicas, sistema lactoperoxidasa, altas presiones hidroestáticas, nanopartículas, bacteriófagos y aceites esenciales.

Las mejores combinaciones del uso de las bacteriocinas y tecnologías emergentes son bacteriocinas y nanopartículas, y bacteriocinas con bacteriófagos, cuyas combinaciones inhiben el crecimiento tanto de bacterias Gram positivas como de Gram negativas, entre las ventajas están: fáciles de aplicar en los alimentos, pueden ser de bajo costo, no cambian las características sensoriales del producto, permiten combatir la resistencia antimicrobiana, y destruyen completamente a los microorganismos sin darles oportunidad de recuperación durante el periodo de maduración o almacenamiento.

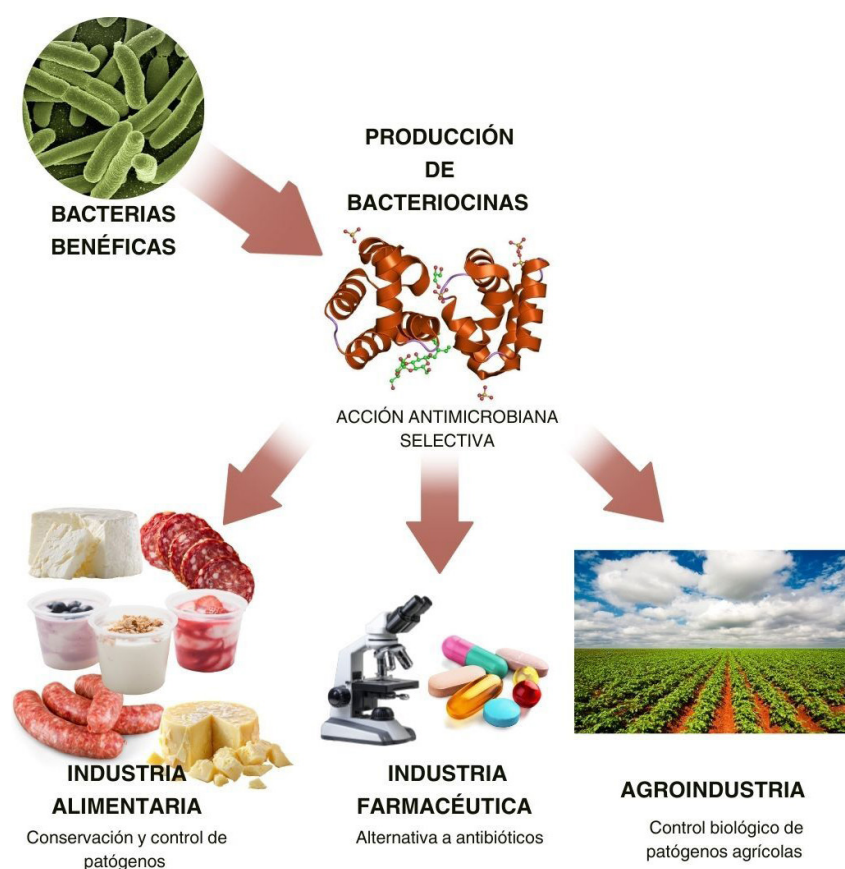


Figura 1. La importancia de las bacteriocinas en la industria

Metodología de revisión

Se realizó una revisión narrativa de la literatura científica sobre bacteriocinas producidas por bacterias ácido-lácticas (BAL), sus mecanismo de acción, clasificación taxonómica y aplicaciones en biopreservación de alimentos y salud humana. La búsqueda se efectuó en las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar, utilizando descriptores en inglés y español como: "*bacteriocins*", "*lactic acid bacteria*", "*antimicrobial resistance*", "*biopreservation*", "*food safety*", "*psychobiotics*", "*mezcal fermentation*" y "*traditional fermented foods*".

El periodo de búsqueda abarcó publicaciones desde 2001 hasta 2026, con énfasis prioritario en literatura de los últimos cinco años (2020 – 2026) para garantizar la actualidad del análisis. Se incluyeron artículos de revisión, artículos originales, capítulos de libro y documentos técnicos de organismos internacionales. Los criterios de inclusión priorizaron estudios que abordan mecanismos de acción a nivel molecular, aplicaciones biotecnológicas innovadoras y caracterización microbiológica de fermentados tradicionales. La selección final comprendió 19 referencias que sintetizan el estado del arte y las perspectivas futuras del campo.



Mecanismos de acción de las bacteriocinas

Las bacteriocinas son péptidos de bajo peso molecular (30-60 aminoácidos) sintetizados ribosomalmente. Su notable capacidad antimicrobiana no es casualidad; radica en su naturaleza estructural. La mayoría posee un carácter catiónico (carga positiva) y anfipático (con regiones hidrofóbicas e hidrofílicas), lo que les permite interactuar electrostáticamente con las membranas celulares de las bacterias diana, las cuales presentan una carga neta negativa. A partir de esta interacción, sus mecanismos de acción se pueden agrupar en dos grandes vías:

- En primer lugar, la disrupción de la integridad de la membrana celular. Este es el mecanismo más común, especialmente en las bacteriocinas producidas por bacterias grampositivas. Tras unirse a los receptores específicos en la superficie bacteriana, los péptidos se insertan en la bicapa lipídica formando poros. Esta perforación provoca una pérdida irreversible del potencial de mem-

brana y la fuga descontrolada de moléculas vitales intracelulares, como iones, ATP y péptidoglicanos, conduciendo a la lisis y la muerte celular (Simons et al., 2020; Revutskaya et al., 2024).

En segundo lugar, la **Inhibición enzimática y de macromoléculas**. Algunas bacteriocinas no solo destruyen la membrana, sino que bloquean procesos intracelulares críticos; por ejemplo, inhibiendo la biosíntesis de la pared celular de peptidoglicano. Por su parte, ciertas bacteriocinas producidas por bacterias gramnegativas

logran interiorizarse y ejercen actividad nuclear, degradando ácidos nucleicos (ADN, ARN) o inhibiendo la síntesis de proteínas, lo que paraliza por completo los procesos de replicación y transcripción de la bacteria patógena (Simons et al., 2020).

Estas propiedades que atacan múltiples dianas celulares simultáneamente son las que las convierten en armas naturales tan eficaces para controlar bacterias competidoras y patógenas, dificultando además el desarrollo de resistencia.



Clasificación de las bacteriocina

La clasificación de las bacteriocinas ha sido un desafío para la comunidad científica debido a la inmensa diversidad estructural, funcional y genética de estos péptidos, así como al descubrimiento constante de nuevas variantes con propiedades híbridas (Simons et al., 2020). A lo largo de las últimas décadas, la taxonomía de estas moléculas ha experimentado una evolución fascinante, impulsada por el avance de la biología molecular y las bases de datos genómicas.

De la clasificación clásica al consenso moderno

Inicialmente, la clasificación más aceptada fue la que dividía a las bacteriocinas en cuatro clases basándose en su tamaño, termoestabilidad y presencia de modificaciones postraduccionales. Con el tiempo, algunos autores expandieron este modelo a cinco clases, para agrupar a los péptidos de estructura circular (Mokoena, 2017).

Sin embargo, la aparición de nuevas bacteriocinas y el refinamiento de las técnicas de purificación obligaron a replantear el esquema. La "Clase IV" (que agrupaba a grandes complejos proteicos con carbohidratos o lípidos) fue cuestionada por investigadores que demostraron que muchos de estos complejos no eran clases reales, sino artefactos de purificación incompleta. Finalmente, basado en características genéticas, bioquímicas y estructurales, se ha establecido un sistema de tres clases principales. (El-Sayed et al., 2023). Un resumen de esta clasificación actualizada, que sintetiza las características, dianas moleculares y ejemplos de cada grupo se presenta en la Tabla 1.

Clase I: Los lantibióticos

Esta clase comprende péptidos pequeños (< 5kDa) y termoestables, cuya marca es la presencia de modificaciones postraduccionales como la lantionina, β -lantionina, dehidroalanina y dehidrobutirina. Estos anillos intramoleculares les otorgan una rigidez estructural que los hace altamente resistentes al calor y las proteasas. Los lantibióticos se dividen en:

- **Subclase Ia (Lineales):** Su representante más emblemático es la nisina, producida por *Lactococcus lactis*. La nisina posee una estructura con dos dominios funcionales: el dominio N-terminal, que se une con alta afinidad al Lípido II de la membrana bacteriana y el dominio C-terminal, que se inserta en la membrana formando poros. Esta doble acción provoca la fuga descontrolada de iones ATP y aminoácidos, llevando a la célula a la muerte. Recientemente, se han descubierto variantes como la nisina U, aislada de *Streptococcus uberis*, que comparte un 78% de similitud con la nisina A (El-Sayed et al., 2023).

- **Subclase Ib (Globulares):** A diferencia de los lineales, estos péptidos adoptan una estructura tridimensional compacta y globular, siendo la mersacidina su ejemplo clásico.

Clase II: Péptidos pequeños termoestables no modificados

Es la clase más heterogénea y numerosa. Abarca péptidos de hasta 10 kDa, termoestables, que no contienen lantionina ni otras modificaciones postraduccionales inusuales. Poseen una estructura anfifílica (con regiones hidrofóbicas e hidrofílicas) que les permite interactuar con las membranas diana. Se subdividen en tres grupos funcionales:

- **Subclase IIa (Tipo pediocina):** Reconocida por su potente actividad antilisterial. Poseen una estructura en el extremo N-terminal en forma de hoja plegada y una hélice alfa en el C-terminal. Al unirse a receptores específicos como el sistema Man-PTS (Sistema de Fosfotransferasa de Manosa), disipan la fuerza motriz de protones y agotan al ATP intracelular.
- **Subclase IIb (Bacteriocinas de dos péptidos):** Son heterodímeros que requieren la sinergia de dos péptidos distintos (generalmente denominados α y β) para lograr su actividad antimicrobiana completa. Su mecanismo de acción implica la disipación del potencial de membrana.
- **Subclase IIc (Otras bacteriocinas y péptidos circulares):** Aquí se agrupan péptidos con estructuras únicas. El hallazgo más notable en esta subclase son las bacteriocinas circulares; estas moléculas presen-

tan un enlace covalente entre sus extremos N-terminal y C-terminal, formando una estructura circular cerrada. Esta topología les confiere una resistencia excepcional a las proteasas gastrointestinales y a temperaturas extremas.

Clase III: Proteínas grandes termolábiles

A diferencia de las clases anteriores, son proteínas de alto peso molecular (> 30 kDa) y termolábiles (se desnaturalizan e inactivan con el calor). Su mecanismo de acción es fundamentalmente distinto: no solo alteran la membrana, sino que poseen actividad enzimática. Estructuralmente, suelen tener dominio N-terminal con actividad catalítica y un dominio C-terminal encargado del reconocimiento y unión a la célula diana. Al degradar componentes vitales como los peptidoglicanos de la pared celular, inducen la lisis directa del microorganismo.

Clase	Características principales	Subclases/Grupos	Diana molecular y mecanismo de acción	Ejemplos representativos
Clase I (Lantibióticos)	Péptidos pequeños (<5 kDa), termoestables. Poseen modificaciones postraduccionales inusuales (anillos de lantionina y β -lantionina).	Ia: Lineales. Ib: Globulares.	Diana: Lipido II. Mecanismo: Inhibición de la síntesis de peptidoglicano y formación de poros (fuga de iones y ATP).	Nisina, Epidermina, Mersacidina.
Clase II (Péptidos pequeños no modificados)	Péptidos pequeños (<10 kDa), termoestables, sin lantionina. Estructura anfifílica.	IIa: Tipo pediocina (antilisteriales). IIb: De dos péptidos (heterodímeros). IIc: Péptidos circulares (cabeza-cola) y otros.	Diana: Sistema Man-PTS o receptores de membrana. Mecanismo: Permeabilización de la membrana, disipación del potencial de membrana y fuga de metabolitos.	IIa: Pediocina PA-1, Sakacina P. IIb: Plantaricina EF, Lactococcina G. IIc: Enterocina AS-48, Lactococcina A.
Clase III (Proteínas grandes)	Péptidos pequeños (<10 kDa), termoestables, sin lantionina. Estructura anfifílica.	No aplica subdivisión clásica.	Diana: Pared celular o ácidos nucleicos. Mecanismo: Actividad enzimática (endopeptidasas o nucleasas) que induce la lisis directa de la célula diana.	Helveticina J, Milericina B.

Tabla 1. Clasificación actualizada de las bacteriocinas basada en criterios bioquímicos, estructurales y genéticos

Nota: Las antiguas clases IV y V han sido reclasificadas; los péptidos circulares ahora se agrupan en la subclase IIc. Fuente: Elaboración propia con base en El-Sayed et al. (2023) y Simons et al. (2020).

Bioconservación

La preservación de los alimentos es una preocupación crítica para prevenir enfermedades transmitidas por alimentos y minimizar el desperdicio; las técnicas clásicas, como el uso de conservadores químicos o tratamientos térmicos severos, pueden alterar las propiedades sensoriales y reducir el valor nutricional. En este contexto, la biopreservación surge como una alternativa, definida como el uso de bacterias ácido-lácticas (BAL) o sus metabolitos (como las bacteriocinas) para extender la vida útil de los alimentos, eliminando o reduciendo la dependencia de aditivos sintéticos (El-Sayed *et al.*, 2023).

La producción de fermentados mediante BAL es una escala económica y viable, siempre que se utilicen medios de cultivo de grado alimenticio, en lugar de medios complejos de laboratorio, los cuales encarecen el proceso y plantean retos a escalamiento industrial (Hernández-Figueroa *et al.*, 2024).

Estos fermentados, ricos en péptidos antimicrobianos, ácidos orgánicos y otros metabolitos bioactivos, no solo inhiben a los patógenos, sino que contribuyen a las características sensoriales (Afrah y Jacob, 2025).

¿Cuál es su impacto en salud y biotecnología?

La resistencia antimicrobiana (RAM) es una amenaza mundial para la salud pública y el desarrollo. Según datos de la Organización Mundial de la Salud, se estima que la RAM bacteriana fue directamente responsable de 1.27 millones de muertes a nivel global en 2019 (World Health Organization [WHO], 2024). Creciendo debido al uso indiscriminado de antibióticos en humanos, animales y agricultura.

Las bacteriocinas, se posicionan como una alternativa ya que son potentes péptidos antimicrobianos que tienen un gran potencial en la prevención y tratamiento de enfermedades en animales. Su actividad antimicrobiana es rápida y muestran una menor propensión a desarrollar resistencia que los antibióticos convencionales. Actualmente, su principal aplicación es en sistemas de conservación de alimentos. Sin embargo, varios estudios demuestran su papel bioactivo como antimicrobianos, probióticos e inmunomoduladores (Hernández González *et al.*, 2021). Además de los probióticos bacteriocinógenos,

las bacteriocinas purificadas o parcialmente purificadas, también son muy prometedoras con respecto al tratamiento de bacterias patógenas diana y, en última instancia, pueden emplearse como fármacos y/o alternativas novedosas a los antibióticos existentes (Gillor *et al.*, 2008).

Más allá de su uso como conservadores, el consumo de BAL y sus metabolitos está redefiniendo el concepto de salud intestinal. *Lactiplantibacillus plantarum* es una bacteria altamente presente en alimentos fermentados y mucosas humanas, se ha demostrado que no solo mejora la digestión de la lactosa o controla infecciones intestinales, sino que modula el sistema inmune de la mucosa y promueve la homeostasis intestinal (Di Chiano *et al.* 2024).

En la actualidad, los consumidores demandan productos alimenticios que sean seguros, saludables y tengan una larga vida útil y sean mínimamente procesados. Las bacterias ácido-lácticas (BAL) promueven la calidad alimentaria



debido a las bacteriocinas y otros metabolitos producidos, que son generalmente considerados compuestos seguros con propiedades atractivas, como estabilidad, actividad antimicrobiana, ausencia de toxicidad y sin alteración del sabor (Cotter *et al.*, 2005). Cabe señalar que solo la nisina y la pediocina PA-1 se han comercializado como aditivos alimentarios; no obstante, otras bacteriocinas de las BAL también presentan perspectivas prometedoras para su utilización como bioconservantes en alimentos, como es el caso de la enterocina AS-48 (Sánchez Hidalgo *et al.*, 2011) o la lacticina 3147 (Villena *et al.*, 2012).



Biodiversidad y potencial antimicrobiano en fermentados tradicionales.

Las bebidas y alimentos fermentados han sido pilares de la dieta humana durante siglos, valorados no solo por su perfil sensorial y nutricional, sino también por su seguridad microbiológica. La fermentación espontánea, impulsada por microorganismos nativos sin inoculación artificial, permite que las bacterias ácido-lácticas actúen como biopreservantes naturales y probióticos, inhibiendo patógenos mediante la producción de metabolitos antimicrobianos (Afrah y Jacob, 2025; Thomas y Sanjo, 2025).

En la producción artesanal de mezcal, el mosto de agave fermentado alberga un ecosistema microbiano diverso y funcionalmente complejo. En este entorno extremo, caracterizado por un pH bajo, altas concentraciones de etanol y disponibilidad limitada de nutrientes se han identificado múltiples géneros de BAL, destacando *Lactiplantibacillus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus* y *Levilactibacillus*; ya que son particularmente frecuentes debido a su extraordinaria adaptabilidad y capacidad de garantizar la estabilidad del proceso fermentativo (López-Sánchez *et al.*, 2026).

El vínculo entre las BAL del mezcal y las bacteriocinas

La relevancia biotecnológica de las BAL aisladas del mezcal radica en que los géneros que dominan este ecosistema son los productores de bacteriocinas de Clase II. Por ejemplo, las enterocinas (producidas por *Enterococcus*), las mesentericinas y leucocinas (de *Leuconostoc*), y las paracaseicinas (de *Lacticaseibacillus*) son péptidos termoestables con una potente actividad contra patógenos alimentarios y clínicos, incluyendo *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* e incluso cepas resistentes (El-Sayed *et al.*, 2023; Simons *et al.*, 2020).



Perspectivas futuras

Los avances en ingeniería genética y bioprocesos buscan optimizar la producción y estabilidad de bacteriocinas, abriendo la puerta a su uso masivo en alimentos funcionales y en medicina personalizada. Su papel como herramienta natural y segura las convierte en protagonistas de la lucha contra patógenos y en aliadas para una alimentación más saludable. Las líneas de investigación más prometedoras para explorarse con mayor profundidad incluyen:

- **Nanotecnología y biopolímeros activos:** El desarrollo de películas y recubrimientos comestibles a base de biopolímeros incorporando fermentados de BAL representa una frontera clave. Estos empaques activos no solo prolongan la vida útil de los alimentos, sino que funcionan como sistemas de liberación controlada de antimicrobianos en el tracto gastrointestinal (Revutskaya *et al.*, 2024).
- **Terapias psicobióticas y el eje intestino – cerebro:** La transición del concepto de “probiótico” a “psicobiótico” abre una posibilidad de ensayos clínicos en humanos. Es necesario investigar cómo las bacteriocinas y los metabolitos de cepas como *Lactiplantibacillus plantarum* pueden modular la neurotransmisión y ayudar en el manejo clínico de enfermedades neurodegenerativas, trastornos del estado de ánimo y deterioro cognitivo (Di Chiano *et al.*, 2024).
- **Revalorización de fermentados tradicionales:** Los mostos de agave, los alimentos y bebidas fermentados funcionan como “biorreactores naturales”. Las futuras investigaciones deben centrarse en el aislamiento y caracterización de las cepas nativas de estos ecosistemas, transformando el patrimonio biocultural en soluciones biotecnológicas globales contra la resistencia antimicrobiana.

Conclusiones

La resistencia bacteriana representa una amenaza vital para la medicina moderna y las bacteriocinas ofrecen una alternativa real y segura. Su capacidad para actuar sobre dianas moleculares específicas y su baja tendencia a generar resistencia las posicionan como candidatas ideales para el desarrollo de nuevos fármacos y terapias tópicas.

La consolidación de la clasificación en tres clases principales, junto con el entendimiento profundo de sus mecanismos de acción a nivel molecular, ha permitido el diseño de estrategias de biopreservación más eficaces. La combinación de bacteriocinas con tecnologías emergentes representa una vía para superar sus limitaciones.

Las propiedades psicobióticas de cepas como *Lactiplantibacillus plantarum* abren un campo de ensayos clínicos en enfermedades neurodegenerativas y trastornos metabólicos, ampliando el horizonte farmacéutico de estos péptidos.

Un hallazgo relevante para la biotecnología en Latinoamérica es la riqueza microbiológica de las fermentaciones ancestrales. Los mostos de agave (de la fermentación del mezcal) albergan ecosistemas complejos de BAL que, al sobrevivir en condiciones extremas, producen diversas bacteriocinas y metabolitos antimicrobianos.

Bacteriocinas: armas naturales contra bacterias y aliadas en la salud y la alimentación

Referencias

- Afrah, y Jacob, M. M. (2025). Antibiotic resistance patterns in lactic acid bacteria from traditional fermented Indian foods: A comprehensive review. In K. Dhanya, M. M. Jacob, y D. G. Muricken (Eds.), *MicroFrontiers 2025: Tackling antimicrobial resistance: Research, innovation & action against AMR*.
- Axelsson L. Lactic acid bacteria: Classification and physiology. En: Salmminen S, Von Wright A, Ouwenhand A, editores. (2004). *Lactic acid bacteria, microbiology and functional aspects*. 3ª ed. Nueva York: Marcel Dekker.
- Balciunas E. M., Castillo Martínez F. A., Todorov S. D., Gombossy de Melo Franco G. M., Converti A., y de Souza Oliveira R. P. (2013). Novel Biotechnological Applications of Bacteriocins: A Review. *Food Control*, 32:134–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.025>
- Cintas, L. M., Casaus M. P, Herranz C, Nes I. F, y Hernández P. E. (2001). Review: Bacteriocins of Lactic Acid Bacteria. *Food Science and Technology International*, 7: 281-305. <https://doi.org/10.1106/R8DE-P6HU-CLXP-5RYT>
- Cotter P. D, Ross R. P, y Hill C. (2005). Bacteriocins: developing innate immunity for food. *Nature Reviews. Microbiology*, 3: 777-788. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1273>
- Da Silva Sabo S., Vitolo M., Domínguez González J. M., y de Souza Oliveira R. P. (2014). Overview of *Lactobacillus plantarum* as a promising bacteriocin producer among lactic acid bacteria. *Food Research International*, 64: 527-536. <https://doi.org/10.1155/2018/9361614>
- Di Chiano, M., Sallustio, F., Fiocco, D., Rocchetti, M. T., Spano, G., Pontrelli, P., Moschetta, A., Gesualdo, L., Gadaleta, R. M., y Gallone, A. (2024). Psychobiotic properties of *Lactiplantibacillus plantarum* in neurodegenerative diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17), 9489. <https://doi.org/10.3390/ijms25179489>
- El-Sayed, A. I. M., El-Sayed, I. M., y Awad, S. (2023). Bacteriocins: Nisin as an alternative source to chemical preservatives. En S. Bhattacharya y H. H. Abd-El Azim (Eds.), *Natural food preservatives*. Jenny Stanford Publishing.
- Gillor O., Vriezen J. A. C., y Riley M. A. (2008). The role of SOS boxes in enteric bacteriocin regulation. *Microbiology (Reading)*, 154(Pt 6): 1783–1792. <https://doi.org/10.1099/mic.0.2007/016139-0>



Hernández-Figueroa, R. H., López-Malo, A., y Mani López, E. (2024). Antimicrobial activity and applications of fermentates from lactic acid bacteria: A review. *Sustainable Food Technology*, 2, 292.

Hernández González J. C., Martínez Tapia A., Lazcano Hernández G., García Pérez B. E., y Castrejón Jiménez N. S. (2021). Bacteriocins from Lactic Acid Bacteria. A Powerful Alternative as Antimicrobials, Probiotics, and Immunomodulators in Veterinary Medicine. *Animals (Basel)*, 11(4): 979. <https://doi.org/10.3390/ani11040979>

López-Sánchez, C., Espinoza-Martínez, V. A., Palma-Cruz, F. de J., Enríquez-Valencia, R., Ramírez-López, M. P., Ortiz-Cortés, L. Y., & Álvarez-Gutiérrez, P. E. (2026).

Ethnobiotechnological analysis of the lactic bacterial diversity in the mezcal fermentation of four palenques in Oaxaca, Mexico. *Fermentation*, 12(2), 89. <https://doi.org/10.3390/fermentation12020089>

Mokoena M. P. (2017). Lactic Acid Bacteria and Their Bacteriocins: Classification, Biosynthesis and Applications against Uropathogens: A Mini-Review. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 22(8): 1255. <https://doi.org/10.3390/molecules22081255>

Revutskaya, N., Polishchuk, E., Kozyrev, I., Fedulova, L., Krylova, V., Pchelkina, V., Gustova, T., Vasilevskaya, E., Karabanov, S., y Kibitkina, A. (2024). Application of natural functional additives

for improving bioactivity and structure of biopolymer-based films for food packaging: A review. *Polymers*, 16(14), 1976. <https://doi.org/10.3390/polym16141976>

Sánchez Hidalgo M., Montalbán López M., Cebrián R., Valdivia E., Martínez Bueno M., y Maqueda M. (2011). AS-48 bacteriocin: close to perfection. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 68(17): 2845–2857. <https://doi.org/10.1007/s00018-011-0724-4>

Simons, A., Alhanout, K., y Duval, R. E. (2020). Bacteriocins, antimicrobial peptides from bacterial origin: Overview of their biology and their impact against multidrug-resistant bacteria. *Microorganisms*, 8(5),

639. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050639>

Thomas, S. S., & Sanjo, N. (2025). Restoring gut microbial balance to fight antimicrobial resistance through traditional probiotic foods of India. En K. Dhanya, M. M. Jacob, & D. G. Muricken (Eds.), *MicroFrontiers 2025: Tackling antimicrobial resistance: Research, innovation & action against AMR*.

Villena J., Suzuki R., Fujie H., Chiba E., Takahashi T., Tomosada Y., Shimazu T., Aso H., Ohwada S., Suda Y., Ikegami S., Itoh H., Álvarez S., Saito T., y Kitazawa H. (2012). Immunobiotic *Lactobacillus jensenii* Modulates the Toll-Like Receptor 4-Induced Inflammatory Response via Negative Regulation

in Porcine Antigen-Presenting Cells. *Clinical and Vaccine Immunology*, 19(7): 1038–1053. <https://doi.org/10.1128/CVI.00199-12>

World Health Organization. (2024, February 14). Antimicrobial resistance. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>





MEMORIAS

XXVIII Jornadas Académicas del Doctorado
en Ciencias en Biotecnología





MEMORIAS

XXVIII Jornadas Académicas del Doctorado
en Ciencias en Biotecnología



Índice

Adriana Martinez Urias	96	Lilian Azucena Barceinas Ghenno	127
Alan Garduno Montero	97	Lourdes Alejandra Figueroa Vilchis	128
Alejandra Maria Araujo Herlández	98	Luisa Fernanda Ramos Bojórquez	129
Amairany Rodríguez Navarrete	99	María Elena Camacho Leyva	130
Aminat Olamide Shokunbi	100	Maricarmen Lara Rodriguez	131
Andrea López Meraz	101	Miguel Cuahquentzi Sánchez	132
Andrea Michelle Hernández Nava	102	Nallely Michelle Panduro López	133
Anna Belia De Los Santos Camarillo	103	Noor Yaseen	134
Aqsa Yasin	104	Oscar Jesus Aispuro Castro	135
Brandon Hernández Gutiérrez	105	Pablo Alejandro Rendon Delcid	136
Brisia Lizbeth Puente Padilla	106	Raquel Rodríguez Gutiérrez	137
Carolina Lerma Treviño	107	Rohullah	138
Carolina Niño Martínez	108	Rosa Isela Delgado Espinoza	139
Cinthia Yedith Padilla García	109	Shaila Nayeli Pérez Salinas	140
Cynthia Gpe. Rodríguez Quibrera	110	Sofia Lizeth De Casas Reyes	141
Daniel Ochoa García	111	Susana Echauri Peña	142
Diego Antonio Cervantes Alvarez	112	Yazmin Melendez Xicohtencatl	143
Eduardo Quitze Vivanco Nuñez	113	Yolanda Ríos Medina	144
Eliud De Garcia	114	Yvonne Ramírez Cáceres	145
Fabiola Avila Valenzuela	115		
Gilberto Vargas Salas	116		
Hadia Akber Samoo	117		
Irma Carolina Torrecillas Rodriguez	118		
Isabel Martinez Rocha	119		
Jaime Manuel Castaneda Sánchez	120		
Jesus Uriel Hernández Armenta	121		
José Alonso Medina Parra	122		
José Efraín Caballero Chávez	123		
Kimberly Janeth Galindo González	124		
Kristell Amairany Rodríguez Chávez	125		
Leticia Guadalupe Ríos Núñez	126		

EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL SUBPRODUCTO DE CHILE JALAPEÑO EMPLEANDO SOLVENTES EUTÉCTICOS PROFUNDOS (DES)

Adriana Martínez Urías^{1*}, Sergio Medina Godoy¹, Claudia Castro Martínez¹

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa (CIIDIR SINALOA.). Boulevard Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, Col. San Joachin, 81049 Guasave, Sinaloa.

*amartiezu2100@alumno.ipn.mx

Resumen.- El chile verde (*Capsicum annum L.*), es un cultivo de gran relevancia mundial tanto cultural como económica. México en los últimos años se ha posicionado como el segundo productor a nivel mundial, en este grupo se incluye el chile jalapeño. Este fruto es ampliamente utilizado en la gastronomía y por la agroindustria en diversos productos, como los chiles en escabeche producidos por la empresa La Costeña®. Tan solo la planta procesadora ubicada en Guasave, Sinaloa, genera en promedio de 800 ton anuales de subproducto de chile jalapeño en la línea de producto troceado. El cual ha demostrado tener gran variedad de compuestos bioactivos como α -tocoferol, ácido gálico, rutina, catequina, y capsaicinoides los cuales dan su característico picor a este género. Además, se ha reportado ampliamente que dichos compuestos tienen un gran potencial de uso como analgésicos, antioxidantes, antiinflamatorios; y se posicionan como compuestos de interés para diferentes industrias como la farmacéutica, nutracéutica, nutricosmética, entre otras. Actualmente, distintos esfuerzos para reemplazar los métodos tradicionales de extracción de estos compuestos, empleando nuevas metodologías verdes, como el uso de Solventes Eutécticos Profundos (DES) están tomando auge. Los DES son mezclas de compuestos orgánicos, formados por un aceptor y un donador de enlaces de hidrógeno, con un punto de fusión menor al de los compuestos individualmente. Estos se presentan como una alternativa de tecnología verde frente a los disolventes orgánicos convencionales. Complementando con la Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU), la cual al actuar a nivel celular rompiendo las paredes con el sistema de cavitación, se presenta como una tecnología no convencional, más eficiente y sostenible, ya que los compuestos no son expuestos de manera prolongada al calor. Con el propósito de crear sistemas más sostenibles y aportar a los objetivos de desarrollo sostenible, el objetivo de este trabajo es realizar la extracción de compuestos bioactivos del subproducto de chile jalapeño, empleando un sistema DES de cloruro de colina y urea, asistido con EAU. Para ello, se realizará la optimización de los bioprocesos, utilizando la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), para seleccionar variables de proceso significativas (amplitud, temperatura, relación muestra-solvente, tiempo) y la optimización con un sistema Box-Behnken, se confirmará la optimización con las variables de respuesta de interés que serán los capsaicinoides, este diseño y análisis estadístico se realizará empleando RStudio. También, se llevará a cabo el análisis de la capacidad antioxidante, el estudio y caracterización de la biomasa residual del proceso de extracción. Con este trabajo se busca establecer las bases tecnológicas en el uso de DES en la extracción de compuestos bioactivos de interés a partir de subproductos agroindustriales.

Palabras clave: Residuos de chile jalapeño, Solventes Eutécticos Profundos, Extracción Asistida por Ultrasonido, Compuestos bioactivos, Valorización

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE DICLOFENACO DE UN VSSF-CW EMPLEANDO LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

Alan Garduño Montero^{1*}, Celestino Odín Rodríguez Nava², José Bernardo Proal Nájera³

¹Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco, Av. Wilfrido Massieu 399, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738 Alcaldía Gustavo A. Madero, CDMX, México

²CIIDIR-Unidad Durango, Calle Sigma 119, Fracc. 20 de noviembre II, C.P. 34220, Durango, México.

*agardunom2301@alumno.ipn.mx

Resumen.- El diclofenaco es un contaminante emergente ampliamente detectado en cuerpos de agua a nivel global debido a su uso intensivo en la medicina humana y veterinaria, así como a su excreción de forma prácticamente inalterada, lo que favorece su persistencia en el ambiente y genera efectos ecotoxicológicos, incluso a bajas concentraciones. En este contexto, los humedales construidos de flujo vertical subsuperficial (VSSF-CW) representan una alternativa tecnológica sostenible para la remoción de este tipo de compuestos, al integrar de manera sinérgica procesos de adsorción, biodegradación y transformación fisicoquímica en medios porosos. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la capacidad de remoción de diclofenaco de un VSSF-CW a escala laboratorio mediante la integración de evaluación experimental y modelado numérico basado en la dinámica de fluidos computacional (CFD), con el propósito de describir los mecanismos de transporte advectivo-dispersivos y las transformaciones del contaminante dentro del sistema. Experimentalmente, se construyeron columnas en configuración VSSF-CW empleando tezontle como medio de soporte, alimentadas con agua residual sintética enriquecida con diclofenaco, y se evaluó su desempeño mediante la cuantificación indirecta a través de la demanda química de oxígeno (DQO) como parámetro indirecto de remoción. Las condiciones de operación permitieron observar una reducción significativa de la DQO a la salida (~75%) durante las primeras 80 horas de operación, etapa donde presumiblemente dominan los procesos de adsorción en el medio poroso, seguida de una transición hacia un régimen donde se evidencia el desarrollo progresivo de actividad microbiana asociada al medio poroso, contribuyendo adicionalmente a la degradación del contaminante. Este comportamiento sugiere la existencia de una dinámica acoplada entre procesos fisicoquímicos rápidos y mecanismos biológicos más lentos, condicionada por la evolución del sistema y las características del medio. Paralelamente, se desarrolló un modelo CFD que incorpora el flujo en medio poroso y el transporte de especies, considerando las interacciones entre la fase líquida y la matriz sólida, el cual fue calibrado y validado mediante la comparación con datos experimentales y reportes de la literatura, mostrando una concordancia adecuada en la predicción de las tendencias de remoción observadas. Asimismo, el modelo permite evaluar la influencia de parámetros operacionales como caudal, porosidad y configuración geométrica sobre la distribución de concentraciones y la eficiencia del sistema. En conjunto, los resultados evidencian la relevancia de integrar herramientas experimentales y numéricas para comprender los procesos dominantes en humedales construidos, así como el potencial del modelado CFD como herramienta predictiva y de análisis para el diseño, optimización y escalamiento de sistemas destinados a la eliminación de contaminantes emergentes.

Palabras clave: Humedal construido, diclofenaco, VSSF-CW, CFD.

CARACTERIZACIÓN GENÉTICA, FISIOLÓGICA, HISTOLÓGICA Y QUÍMICA DE PLANTAS POLIPLOIDES DE ARÁNDANO

Alejandra María Araujo-Heráldez^{1*}, Patricio Arce-Johnson², Jesús Lucina Romero-Romero¹

¹CIIDIR-UNIDAD SINALOA. Carretera a las Glorias, Col. San Juachín, 81049, Guasave, Sinaloa. ²Universidad Autónoma de Chile. Del Valle 534, 8580640, Huechuraba, Región Metropolitana, Chile.

*jromeror@ipn.mx

Resumen. - El arándano, es una especie originaria de Norteamérica que produce bayas comestibles, domesticada hace más de 70 años. En la actualidad, existen numerosas variedades, que son resultado del cruzamiento entre diversas especies del género *Vaccinium*. El desarrollo comercial de este berrie a nivel global, se centra principalmente en Norteamérica. La favorable expansión del arándano alto, mismo que puede desarrollarse en lugares fríos y también regiones cálidas, está siendo desafiada por alteraciones en los patrones de temperatura y lluvia. Dado que el clima es el principal factor que afecta la producción agrícola, se ha generado un escenario productivo con mayor incertidumbre para el cultivo de berries en México. En este proyecto se están caracterizando a nivel genético, fisiológico, histológico y químico, nuevas plantas de arándano poliploides con respecto al control. Para lo anterior, se partió por determinar el incremento en la ploidía mediante citometría de flujo y evaluar histológicamente de densidad y tamaño estomático mediante microscopía óptica. Las líneas seleccionadas (n=3), se aclimataron en condiciones *ex vitro* y se establecieron bajo las extremas condiciones climáticas del estado de Sinaloa, con la finalidad de caracterizar su respuesta fisiológica y desarrollo de sus frutos. Estos últimos, se caracterizaron químicamente determinado su pH, acidez titulable, contenido de antocianinas y capacidad antioxidante, mediante métodos previamente estandarizados. Como resultado de la caracterización genética, se identificaron 5 nuevas líneas de arándano octaploides (8x). Además, 45 líneas que no incrementaron su ploidía, pero mostraron cambios a nivel histológico, disminuyendo su densidad estomática entre el 15 y 55% é incrementando su tamaño de estoma en un 4 a 45%. Actualmente, se cuenta con un banco de germoplasma *in vitro* de todas las líneas seleccionadas. De igual manera, las 45 líneas de arándano, se establecieron exitosamente *ex vitro* y continúan su desarrollo favorablemente bajo mallasombra en las condiciones climáticas del estado de Sinaloa, con un estricto control de riego y fertilización nutricional. En ellas, se continúa evaluando su respuesta fisiológica y productiva. El 68% de las líneas seleccionadas generaron fruta durante el ciclo agrícola 2025-2026. Los frutos mostraron buena calidad poscosecha al presentar valores óptimos en diversos parámetros tales como; tamaño, color, sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT). Los resultados en conjunto permitirán generar una nueva variedad de arándano en nuestro país.

Palabras clave: Arándano, *in vitro*, cambio climático, poliploide.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MATERIALES A BASE DE POLÍMEROS Y SU APLICACIÓN EN LA ENDODONCIA REGENERATIVA

Amairany Rodríguez-Navarrete¹, Doris Atenea Cerecedo Mercado¹, Alfredo Maciel Cerda², Valentín López Gayou³, César Augusto Sandino Reyes López¹, Jorge Cornejo Garrido¹.

*

¹Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía-IPN, Calle Guillermo Massieu Helguera número 239, Fraccionamiento La Escalera, Ticomán, C.P. 07320, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, ²Instituto de Investigación en Materiales-UNAM, Circuito de la, Circuito Exterior, Investigación Científica S/N, C.U., 04510 Ciudad de México, CDMX, ³Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada Tlaxcala (CIBA-Tlaxcala) Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala, C.P. 90700, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, México

arodriguezn2300@alumno.ipn.mx

Resumen.

La caries dental no tratada, los traumatismos dentales y las variaciones anatómicas pueden desencadenar pulpitis (inflamación de la pulpa dental). A pesar de que la terapia del conducto pulpar es considerada en tratamiento estándar, presenta diversas desventajas, entre las que destacan pérdida de la vitalidad, sensibilidad dental, y un mayor riesgo de fractura dentaria, entre otras. La endodoncia regenerativa es un enfoque terapéutico que busca restaurar o regenerar el complejo dentino-pulpar, con el objetivo de promover la formación de tejido conectivo pulpar, la revascularización y la reinervación. Este enfoque se basa en la combinación de andamios (scaffolds) biodegradable y biocompatibles, células y moléculas bioactivas. En este estudio se fabricaron andamios a base de poli-ε-caprolactona (PCL), ácido poli glicólico (PGA) y colágeno (Col) en distintas concentraciones (PCL: PGA; 20:80; 50:50 y 80:20) mediante la técnica de electrohilado y fueron modificados superficialmente con colágeno. Los andamios sin colágeno se usaron como grupo control. Posteriormente fueron caracterizados por SEM, microscopia confocal, y medición de ángulo de contacto. El efecto citotóxico de los andamios se analizó mediante el ensayo de MTT en diferentes tiempos de cultivo celular (0, 3, 7, 14 y 21 días). La degradación *in vitro* de los materiales se evaluó en el día 21, tanto en medio de cultivo celular como en sembrado celular. En la endodoncia regenerativa se busca un andamio que imite temporalmente a la matriz extracelular del tejido que se desea regenerar, además, dicho andamio debe de permitir la adhesión, la proliferación, la diferenciación celular y su degradación debe de ir en sinergia con la regeneración de *tejido de novo*. Conocer las propiedades físicas y biológicas influenciadas por la composición de los andamios fabricados para estos estudios nos permitirá seleccionar el material más adecuado para los procesos de endodoncia regenerativa. Los resultados indican que las concentraciones de PCL: PGA y la incorporación de colágeno, no afectan significativamente la adhesión y en la proliferación celular, sin embargo, si influyen en los tiempos de degradación. El andamio de PCL: PGA (50:50) sin colágeno podría considerarse el más idóneo por sus propiedades físicas y químicas.

Palabras clave: Endodoncia regenerativa, andamios, poli-ε-caprolactona (PCL), ácido poli glicólico (PGA) y colágeno.

IN SILICO ANALYSIS OF BACTERIAL ENZYMES FROM CUATRO CIÉNEGAS METAGENOMES ASSOCIATED WITH POLYETHYLENE DEGRADATION

Aminat Shokunbi¹, Ninfá M. Rosas García^{1*}

¹ Instituto Politécnico Nacional- Centro de Biotecnología Genómica, Boulevard del Maestro S/N esquina Elías Piña. Col. Narciso Mendoza. C.P. 88700 Reynosa, Tamaulipas, México.

*nrosas@ipn.mx

Abstract. - Polyethylene (PE) has proven to be the most generally produced and environmentally recalcitrant plastic, showing ultimate resistance to biodegradation. Extremophilic environments such as the Cuatro Ciénegas Basin (CCB) contain metabolically specialized microorganism communities potentially having the likelihood of novel enzymes that can degrade PE. Metagenomic mining offers a powerful approach for identifying such enzymes, overcoming culturing limitations. Metagenomic reads from microbialites and submerged microbial mats were filtered for quality control, assembled, and taxonomically classified using Kraken2. Metagenome assembled genomes (MAGs) were annotated with Prokka and functionally profiled with KEGG, EggNOGmapper, and MetaCyc. A curated reference set of 27 experimentally verified bacteria capable of degrading PE was used to construct Hidden Markov Models (pHMMs). These pHMMs were screened across MAG-derived predicted proteomes using HMMER, followed by domain validation (Pfam) and phylogenetic contextualization. Ten high-completeness MAGs were reconstructed, clustering into distinct mat and microbialite-associated groups. Across these MAGs, more than 115 candidate homologs were identified, including multicopper oxidases (MmcO), copper-resistance proteins, AlkB-like monooxygenases, and several hypothetical proteins containing conserved oxidoreductase or hydrolase domains potentially involved in PE degradation. Applying an e-value threshold of $1e^{-5}$ reduced the candidate set to 80 homologs. Submerged microbial mats exhibited the highest number of enzymatic candidates. These samples are quite similar to taxonomic enrichment in Actinomycetota and Pseudomonadota, genera historically associated with hydrocarbon and polymer degradation.

This study highlights the CCB as a reservoir of extremophilic microbes with potential for polyethylene biodegradation. Metagenomic analyses revealed diverse taxa, including Streptomyces and Pseudomonas, known for hydrocarbon and polymer degradation. *In silico* screening revealed candidate enzymes with conserved domains and evolutionary links to known plastic-degrading families. These findings underscore the ecological and biotechnological value of extreme environments for discovering novel biocatalysts. The CCB harbors diverse microbial lineages encoding previously uncharacterized enzymatic candidates with potential involvement in polyethylene oxidation and depolymerization. These results highlight CCB as a reservoir of extremophile-derived biocatalysts and provide a foundational set of targets for future structural prediction and biochemical validation.

Keywords: Polyethylene biodegradation, Metagenomics, Cuatro Ciénegas Basin, Extremophiles, In silico enzyme discovery.



EFFECTO ANTITUMORAL DE COMPUESTOS DE DIORGANOESTAÑO (IV) EN CULTIVO TRIDIMENSIONAL DE OSTEOSARCOMA

Andrea López Meraz¹, Nury Pérez Hernández¹, Rene Torres Ricario², Ángel Ernesto Bañuelos Hernández¹, Fernando Gómez Chávez¹, Jorge Cornejo Garrido¹

¹Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía IPN Av. Guillermo Massieu Helguera 239, La Purísima Ticomán, Gustavo A. Madero, 07320 Ciudad de México, CDMX. ²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Sigma 119, 20 de noviembre II, 34220 Durango, Dgo.

*alopezm2200@alumno.ipn.mx

Resumen. El osteosarcoma es el tumor maligno primario de hueso más frecuente y representa el 20–25 % de los tumores óseos primarios malignos en México. Es una enfermedad que afecta principalmente a niños y adolescentes, y es más común en los varones. El tratamiento actual basado en cirugía y quimioterapia ha mejorado la supervivencia en enfermedad localizada, pero el pronóstico de los pacientes con metástasis o resistencia a la quimioterapia sigue siendo desfavorable, con supervivencias que no han cambiado en las últimas décadas. Esta situación pone de relieve la necesidad de desarrollar nuevas estrategias terapéuticas más eficaces.

En este sentido, los modelos tridimensionales de cultivo celular han surgido como una herramienta fundamental para reproducir de manera más fiel características estructurales y funcionales del microambiente tumoral, tales como interacciones célula-célula, la presencia de gradientes de oxígeno y nutrientes, así como patrones de proliferación y necrosis similares a los observados en tumores *in vivo*.

Así, el objetivo del presente estudio es evaluar la actividad antitumoral de 9 nuevos compuestos sintéticos de diorganoestaño (IV) que contienen en su estructura aminoácidos utilizando modelos tridimensionales de esferoides celulares derivados de las líneas celulares de osteosarcoma MG-63 y HOS, así como en la línea osteoblástica hFOB 1.19 como modelo de células no tumorales, mediante ensayos de citotoxicidad. En este primer avance se darán a conocer algunos resultados preliminares de este objetivo específico. También durante el proyecto se analizarán los cambios morfológicos de los esferoides, así como la posible inducción de mecanismos de muerte celular, como la apoptosis y/o necrosis, mediante ensayos de citometría de flujo. De este modo, el presente trabajo busca aportar evidencia sobre el potencial de los metalofármacos como una alternativa terapéutica prometedora para el tratamiento del osteosarcoma, especialmente en casos asociados a resistencia a la quimioterapia convencional.

Palabras clave: osteosarcoma; compuestos diorganoestaño; cultivo tridimensional.

BÚSQUEDA DE COMPUESTOS OTOPROTECTORES DIRIGIDOS HACIA LA CASPASA-3 EN LA OTOTOXICIDAD INDUCIDA POR CISPLATINO

Andrea Michelle Hernandez Nava^{1*}, Jorge Cornejo Garrido², Ángel Ernesto Bañuelos Hernández³, Iris Natzielly Serratos Álvarez⁵
Absalom Zamorano Carrillo^{1,4}, Claudia Guadalupe Benítez Cardoza^{1,4}

¹Laboratorio de Investigación Bioquímica, ²Laboratorio de Biología Celular y Productos Naturales, ³Laboratorio de Microbiología Molecular y ⁴Laboratorio de Biofísica Computacional; ENMH, Instituto Politécnico Nacional, Guillermo Massieu Helguera 239 Fracc. La Escalera, Ticomán C.P. 07320 CDMX., ⁵Departamento de Química, Universidad Autónoma Metropolitana–Unidad Iztapalapa (UAM-I), Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Leyes de Reforma 1ra Sección, Iztapalapa, C.P. 09340, CDMX.

[*ahernandezn2505@alumno.ipn.mx](mailto:ahernandezn2505@alumno.ipn.mx)

Resumen

La ototoxicidad inducida por cisplatino es considerada uno de los efectos adversos más importantes asociado al uso de este compuesto, debido a que se presenta de forma bilateral, progresiva y en la mayoría de los casos irreversible. Esta última característica se relaciona con la apoptosis de las células ciliadas, proceso en el cual, la caspasa-3 desempeña un papel central. Esta investigación plantea identificar compuestos con potencial inhibitorio de la caspasa-3, empleando estudios *in silico* e *in vitro*, logrando así, desarrollar tratamientos farmacológicos de administración local capaces de disminuir o mitigar el daño auditivo ocasionado por el cisplatino, sin comprometer su eficacia terapéutica.

Palabras clave: apoptosis, caspasa-3, cisplatino, otoprotectores, ototoxicidad.

Introducción

La ototoxicidad se define como el daño ocasionado al oído interno por la exposición a compuestos ototóxicos (Steyger 2021). Entre estos se han identificado: antiinflamatorios no esteroideos (AINES), antibióticos, antipalúdicos, diuréticos de asa y quimioterapéuticos basados en platino (Rybak y Ramkumar 2007; Ganesan et al. 2018; Pasdelou et al. 2024). Dentro de este último grupo están el carboplatino, oxaliplatino y cisplatino, siendo este último compuesto de particular interés debido a su amplia aplicación clínica. El cisplatino es utilizado en el tratamiento de diversos tipos de cáncer, incluyendo aquellos de cabeza y cuello, cuello uterino, ovario, pulmón, vejiga y testículo en adultos, así como neuroblastomas, osteosarcomas y hepatoblastomas en población pediátrica (Rybak y Ramkumar, 2007; Callejo et al., 2015; Tang et al., 2021; Wang et al., 2023). Sin embargo, su uso se ve limitado por la aparición de efectos adversos, entre los que destaca la ototoxicidad inducida por cisplatino (CIO, por sus siglas en inglés cisplatin-induced ototoxicity). La CIO es considerada el efecto adverso más común debido a la acumulación y retención prologada de este fármaco en la cóclea. Clínicamente se manifiesta como tinnitus e hipoacusia, los cuales se presentan de forma bilateral, progresiva e irreversible (Fernández et al. 2021; Tan y Vlajkovic 2023). Este daño auditivo afecta a más del 60% de los pacientes pediátricos y alrededor del 30-60% de pacientes adultos (Magagnoli et al. 2024). Se ha reportado que la CIO no solo perjudica la salud física, sino que también afecta

CARACTERIZACIÓN DE *Listeria monocytogenes* EN LA CADENA PRODUCTIVA DE CARNE BOVINA Y SU RIESGO EN SALUD PÚBLICA.

Anna Belia De Los Santos Camarillo¹, José Vázquez Villanueva², Virgilio Bocanegra García¹, Ana Verónica Martínez Vázquez^{1*}

¹Centro de Biotecnología Genómica, IPN, Blvd del Maestro SN, Col. N. Mendoza, CP 88710, Reynosa, Tam. ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UAT, Carr. Mante km 5, Ej. Santa Librada, C.P. 87274, Ciudad Victoria, Tam.,

*avmartinez@ipn.mx

Resumen.- *Listeria monocytogenes* es la bacteria causante de listeriosis, una enfermedad con baja incidencia, pero con alta tasa de hospitalización (80-90%) y mortalidad (20-30%). Esta enfermedad afecta principalmente a mujeres embarazadas, infantes, personas de tercera edad y pacientes inmunocomprometidos, por lo que se le considera la tercera enfermedad más grave transmitidas por alimentos. El tratamiento usual para listeriosis consiste en β -lactámicos como ampicilina o amoxicilina, generalmente combinados con un aminoglucósido, con mayor frecuencia gentamicina. Así también se utilizan algunos tratamientos alternativos con trimetoprima-sulfametoxazol, vancomicina o fluoroquinolonas. Sin embargo, en los últimos años se ha reportado la presencia de cepas *Listeria monocytogenes* resistentes a uno o varios de estos antibióticos, dificultando con ello la aplicación de un tratamiento efectivo, que conlleva a que se agraven los síntomas y eleva aún más la tasa de mortalidad. En México se ha publicado poca información sobre la prevalencia de *Listeria monocytogenes* y su potencial riesgo para la salud pública. Por lo cual, el objetivo del presente estudio es evaluar la prevalencia de *Listeria monocytogenes*, virulencia y patrones de resistencia a antibióticos en la cadena productiva de carne de res en el municipio de Victoria, Tamaulipas, México. Como parte de la metodología, se tomaron muestras representativas durante 12 meses (Octubre de 2025 a Septiembre de 2026), que consistieron de: carne molida de res de venta al menudeo en comercios locales (120 muestras), canales de res en rastro (120 muestras), muestras de superficies dentro del rastro (120 muestras) y muestras de heces fecales de ganado bovino (120 muestras). Para el aislamiento e identificación de *Listeria monocytogenes* cada muestra será homogenizada en proporción 1:10 en agua peptonada, para posteriormente inocularse por duplicado en placas de CHROMagar™ *Listeria*. La identificación será corroborada por VITEK. Para determinar virulencia y serotipos se seleccionaron 10 genes de virulencia que se analizarán mediante PCR. La prueba de susceptibilidad a antibióticos se realizará por el método de Kirby-bauer (CLSI) utilizando un panel de 12 antibióticos. Finalmente, entre las cepas obtenidas se seleccionarán algunas de interés para realizar un análisis del genoma completo. Como parte de los resultados actuales, se han obtenido 200 muestras (50 carne molida, 50 canales, 50 superficies y 50 heces bovinas). Solo se ha detectado la presencia de *Listeria monocytogenes* en las muestras de carne molida comercial en un 18% (9/50). Entre octubre a marzo, la mayor prevalencia se detectó en muestras de febrero con 40% (4/10). Hasta el momento se han detectado 8 de los 10 genes de virulencia incluido en este estudio, siendo los genes *actA* y *plcB* con 90%. Con los resultados parciales obtenidos hasta el momento, podemos considerar que la carne de res comercializada en Cd. Victoria, Tams podría representar un riesgo para la salud pública ante un manejo inadecuado.

Palabras clave: *Listeria monocytogenes*, virulencia, resistencia, Tamaulipas.

ASSESSING THE LIFE-STORY, OF SUBLETHAL EXPOSURE TO CRY, CYT AND VIP TOXINS OF *Bacillus thuringiensis* IN *Aedes aegypti*

Aqsa Yasin^{1*}, Ninfa M. Rosas García¹, Erick de J. de Luna Santillana²

¹ Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Reynosa, Tamaulipas, Mexico.

² Laboratorio de Medicina de Conservación, Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Reynosa, Tamaulipas, México.

*ayasin2500@alumno.ipn.mx

Mosquito-borne diseases continue to cause a significant health burden worldwide. *Aedes aegypti* is the single-most important vector for the transmission of arboviruses such as dengue, Zika, chikungunya, and yellow fever. Prior approaches have predominantly used chemical insecticides for vector population control, which have been largely successful; however, significant environmental damage and increasing insecticide resistance have prompted the scientific community to explore alternative strategies. To this end, microbial bioinsecticides, particularly *Bacillus thuringiensis* (Bt) have emerged as an environmentally sustainable alternative to the chemical insecticides due to their biodegradability and limited non-target toxicity. Existing Bt-based approaches primarily focus on acute mortality, while the efficacy of sublethal exposure in terms of environmental impact and physiological, transgenerational, and transcriptomic effects on the mosquito vectors has been largely understudied. This research work aims to investigate the life-history, of sublethal exposure to the Cry/Cyt and Vip toxins of Bt in *Ae. aegypti*. The hypothesis says that sublethal exposure of Cry/Cyt and Vip induces measurable changes in development, survival, reproduction, morphology, and gene expression of *Ae. aegypti*, to address this, we established a colony of *Ae. aegypti* from eggs from previous colonies from Reynosa and Tapachula, Chiapas. On the other hand, Bt isolates will be screened for the presence of *cry*, *cyt* and *vip* genes. Toxins will be obtained as reported by Dulmage *et al.* (1970) and tested at sublethal concentrations through bioassays on 3rd instar larvae. The life-history traits to determine include larval development time, pupation success, adult emergence, fecundity, longevity, wing morphology, and flight activity. Gene expression responses associated with toxin exposure will be determined. Differentially expressed genes will be identified and functionally annotated with a specific focus on genes involved in detoxification, including cytochrome (P450) monooxygenases (CYPs), glutathione S-transferases (GSTs), and carboxylesterases (COEs); stress response genes such as heat shock proteins (HSP70 and HSP90); and reproduction-related genes, including vitellogenin (Vg), vitellogenin receptor (VgR). These analyses will help to understand how sublethal Bt exposure influences physiological adaptation and the potential emergence of tolerance or resistance.

Palabras clave: *Bacillus thuringiensis*, Vector control, Life-history traits.



Diseño, obtención y validación experimental de derivados del ácido fenoxiacético como agentes antihiper glucémicos

Brandon Hernández Gutiérrez^{1*}, Fabiola Eloisa Jiménez Montejó¹, María del Carmen Cruz López¹

¹Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional, Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomax-Tepetitla, Km 1.5, Tepetitla de Lardizábal, 90700 Tlaxcala, Mexico.

*bhernandezg2200@alumno.ipn.mx

Resumen. La diabetes mellitus es una enfermedad crónica que se caracteriza por hiperglucemia (HG). Se estima que para el 2050 cerca de 853 millones de personas tendrán esta enfermedad, un incremento del 69 % con respecto al 2025. La variante tipo 2 de esta enfermedad está presente en el 90% de los casos diagnosticados, presentando pérdida progresiva de la sensibilidad a la insulina lo que conduce a HG, hiperinsulinemia y eventual agotamiento de las células β -pancreáticas. Actualmente, las terapias clínicas utilizan como principales agentes antidiabéticos a las sulfonilureas y biguanidas; sin embargo, el uso prolongado puede inducir tolerancia y pérdida de eficacia, o fenómenos como el “fallo secundario” en las sulfonilureas, donde se pierde la función de islotes pancreáticos por la toxicidad intrínseca del fármaco. Existen múltiples objetivos farmacológicos para tratar esta enfermedad lo que permite la combinación de diferentes terapias con mecanismos de acción distintos, lo que crea la posibilidad de obtener compuestos multiobjetivo que puedan tener su acción farmacológica en múltiples niveles fisiológicos (multimodal) reduciendo el riesgo de inducir tolerancia farmacológica y daño por toxicidad. El diseño de fármacos asistido por computadora (CADD, por sus siglas en inglés) es una herramienta con la capacidad de asistir en el diseño y la obtención de compuestos multimodales para el tratamiento de la diabetes tipo 2. Este trabajo tiene como objetivo la obtención de derivados del ácido fenoxiacético (DAFs) con potencial efecto antihiper glucémico y su validación experimental utilizando como herramienta el CADD, específicamente modelos QSAR-IA y Cribado virtual, dirigiendo el diseño a obtener compuestos agonistas de los receptores celulares PPAR gamma y alfa y FFAR1 e inhibitorio de las enzimas alfa-glucosidasa, amilasa y DPP-4. Por último, validar la actividad antihiper glucémica predicha mediante experimentos *in vitro*. La metodología utilizada para el diseño se enfoca en un modelo híbrido que integra la construcción de modelos QSAR usando aprendizaje automatizado y el cribado virtual basado en acoplamiento molecular, predicciones farmacocinéticas y farmacodinámicas y dinámica molecular. Posteriormente, la síntesis de los DAFs inicia con la obtención del ácido fenoxiacético *orto*, *meta*, o *para* sustituidos y su posterior condensación con los alcoholes o aminas correspondientes. Luego, los ensayos de inhibición enzimática se realizan mediante colorimetría siguiendo metodologías ya establecidas utilizando como controles positivos los fármacos comerciales acarbose y vildagliptina, empleando α -glucosidasa de *Saccharomyces cerevisiae*, amilasa pancreática porcina y DPP-4 humana recombinante. Los ensayos para la acción agonista en los receptores PPARs se llevan a cabo en líneas celulares HepG2 mediante inmunoensayos con kits de ALESSA, mientras que para FFAR1 se utilizan ensayos de flujo de calcio en células HEK293 transfectadas, INS-1 o MIN6. En conclusión, se espera que las metodologías del CADD permitan obtener un grupo de compuestos con actividad

USO DE MEZCLAS DE MICROALGAS COMO ADITIVOS EN DIETAS FORMULADAS PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.

Brisia Lizbeth Puente Padilla¹, Gabriel Iván Romero Villegas², Claudio Fuentes Grunewald², Herveý Rodríguez González^{1*}

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Sinaloa, Bulevar Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, Guasave, Sinaloa, ²Universidad de Ciencia y Tecnología Rey Abdalá, Thuwal, Arabia Saudita.

*hrodriguez@ipn.com

Resumen. - La demanda internacional de productos animales sigue en aumento, y, por lo tanto, la producción de alimento para animales es un gran desafío para la seguridad alimentaria mundial. Debido a su alta producción y valor comercial, especies como la tilapia del Nilo y el camarón blanco son una parte central de la acuicultura, creando así una creciente demanda de alimentos balanceados. Tradicionalmente, la harina de pescado ha sido el ingrediente por excelencia en las dietas de animales acuícolas debido a su alto valor nutritivo y digestibilidad, pero sus precios y explotación han impulsado la búsqueda de alternativas más ecológicas para la alimentación. De igual forma, en la industria avícola, especialmente en la producción de los pollos de engorda (*Gallus gallus*), la harina de soja es la principal fuente de proteína. Sin embargo, su producción genera problemas ambientales como la deforestación, el consumo masivo de agua, la emisión de gases de efecto invernadero, la competencia con la alimentación humana, el mayor costo y la pérdida de estabilidad en el suministro. La harina de microalgas ha sido una alternativa interesante para formular dietas para la acuicultura y la avicultura respectivamente. Las microalgas están compuestas de proteínas, lípidos y carbohidratos, con un perfil de aminoácidos muy equilibrado, de modo que no se requieren suplementos sintéticos alternativos que requieren un mayor costo de producción. Por lo esto, este trabajo tiene como objetivo la evaluación de las microalgas como aditivo en la dieta, formulada para la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), para el camarón blancos juveniles (*Penaeus vannamei*) y para pollos de engorda (*Gallus gallus*) mejorando así la productividad. Para cumplir con lo anterior, se produjo la biomasa de las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Leptolyngbya* sp. en reactores tipo raceway para este propósito. Se realizaron análisis bromatológicos de acuerdo con los procedimientos estándar establecidos por la AOAC. La cuantificación de los ácidos grasos se llevará a cabo utilizando técnicas de transesterificación directa, con su identidad verificada en base a los tiempos de retención comparados con los de sus estándares. Al mismo tiempo, se emplearán técnicas cromatográficas para cuantificar el contenido de aminoácidos. Además, los antioxidantes, flavonoides y fenoles totales se medirán mediante técnicas colorimétricas. Los resultados obtenidos al momento mostraron que, en los pollos, la inclusión de microalgas en sus dietas no afectó significativamente el crecimiento ni la supervivencia. En tilapias, se observó el mismo comportamiento durante los primeros días de cultivo. Colectivamente, los resultados indican que la incorporación de microalgas en la dieta de tilapias y pollos no impactó negativamente en el peso corporal de los animales.

Palabras clave: Microalgas, alimentación animal, nutrición.

TRANSCRIPTOMA PLACENTARIO Y METILACIÓN GEN-ESPECÍFICA EN MUJERES EMBARAZADAS EXPUESTAS A FLUORURO Y SU ASOCIACIÓN CON PREECLAMPSIA.

Carolina Lerma-Treviño¹, Nury Pérez Hernández², David Guillermo Pérez Ishiwara², Ana María Sifuentes Rincón³, Mónica Ivette Jiménez Córdova⁴, Carlos Galaviz-Hernández^{1*}

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Sigma 119, 20 de Noviembre, 34220 Durango, México.

²Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Luis Enrique Erro S/N, Zacatenco, Alcaldía Gustavo A. Madero, 07738, CDMX, México.

³Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica, Boulevard del Maestro S/N esq. Elías Piña, Col. Narciso Mendoza, 88710, Reynosa, México.

⁴Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Laboratorio de Toxicología, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, Gustavo A. Madero, 07360 CDMX, México.

*carlosgalavizhernandez55@gmail.com

Resumen.- La preeclampsia (PE) es una de las principales causas de morbilidad materno-fetal, su origen se ha asociado a la disfunción placentaria y se ha sugerido que exposiciones ambientales como el fluoruro (F) podrían influir en su desarrollo, ya que tiene la capacidad de atravesar la barrera placentaria, esto podría alterar la función y vascularización placentaria. Nuestro objetivo es evaluar la asociación entre la exposición al F y la PE a través del análisis del transcriptoma placentario y metilación gen-específica en mujeres embarazadas. Esto permitirá identificar genes y vías de señalización diferencialmente expresados asociados a la PE que se muestren afectados por el F. Además, estudiar los patrones de metilación de genes específicos asociados a la PE permitirá conocer si el F puede generar cambios en la expresión génica a través de alterar mecanismos regulatorios epigenéticos. Se realizará un estudio de casos y controles aprobado por el Comité de Ética e Investigación del Hospital General de Durango (710/026) de 45 mujeres embarazadas (15 con PE y 30 sanas) para cuantificar las concentraciones de F en orina materna, placenta, agua de consumo y fluorosis dental. Se seleccionará una submuestra de 12 mujeres (3 casos y 3 controles con las mayores concentraciones de F; 3 casos y 3 controles con las menores concentraciones de F) para analizar el transcriptoma placentario mediante RNA-seq. El análisis bioinformático se realizará por medio de la plataforma Galaxy y R utilizando herramientas como Degust, GProfiler, STRING. Se seleccionarán genes involucrados en la etapa de placentación y que estén estadísticamente correlacionados con el F para validar su expresión en toda la muestra por RT-qPCR con sondas TaqMan. Asimismo, se evaluará la metilación de los genes específicos tratados con bisulfito, se calculará el % de metilación. Por último, se realizará un análisis descriptivo y se emplearán modelos de regresión lineal y logística para estimar la asociación entre la exposición de F y la PE. Analizar la exposición gestacional al F y el transcriptoma placentario en gestantes con y sin PE aportará evidencia novedosa sobre sus efectos moleculares y apoyar estrategias de salud pública en regiones endémicas de hidrofluorosis como Durango donde se reportan concentraciones en agua superiores a límites permisibles nacionales e internacionales.

Palabras clave: expresión génica, transcriptómica, preeclampsia, one health.

NANOENCAPSULACIÓN DEL EXTRACTO DE NEEM (*Azadirachta indica* A.) PARA EL CONTROL DE MANCHA DORADA EN EL CULTIVO DEL NOPAL (*Opuntia Ficus indica* L.)

Carolina Niño Martínez^{1*}, María Eugenia Jaramillo Flores², Ma de la Paz Salgado Cruz³,
Aida Verónica Rodríguez Tovar⁴, Raúl Jacobo Delgado Macuil⁵

^{1, 2, 3} Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Av. Wilfrido Massieu 399, Nueva Industrial Vallejo, Gustavo A. Madero, Ciudad de México, 07738. ⁴ Departamento de Microbiología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n Colonia Santo Tomás, Miguel Hidalgo Ciudad de México 11340, México; Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Ex-Hacienda San Juan Mo-lino, Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tepetitla de Lardizabal, 90700 Tlaxcala, México.

*cninom2300@alumno.ipn.mx

Resumen. La Mancha Dorada del nopal, causada por *Alternaria* sp. es un hongo que induce lesiones cloróticas y costras doradas. Su caracterización requiere la integración de técnicas moleculares, morfológicas y quimiométricas asociadas a factores de patogenicidad como toxinas o síntesis de melanina, cuyo control se basa el uso de fungicidas químicos con uso restringido debido a su alto riesgo toxicológico. Este estudio, caracterizó el hongo fitopatógeno, sus factores de patogenicidad asociados a la producción de melanina y la actividad antifúngica/antimelanogénica de extractos de neem para su biocontrol. El hongo aislado, fue caracterizado morfológica y molecularmente mediante filogenia multilocus (ITS, Alt_a1, ATPasa e His_3) integrado al análisis químico (FTIR), se cuantificó la melanina por espectroscopía UV-VIS correlacionado con pruebas de patogenicidad. Finalmente, se evaluó la actividad antifúngica de extractos etanólicos y cetónicos de neem aunado a un estudio in-silico de las proteínas asociadas a la biosíntesis de melanina. Como resultado, seis cepas con características fenotípicas fueron identificadas como *A. alternata* y *A. tenuissima*, siendo His_3 el único marcador que las diferenció. En los análisis quimiométricos basados en el PCA del espectro infrarrojo, dos cepas se diferenciaron en las regiones asociadas a compuestos aromáticos y proteínas. *A. tenuissima* (M18) mostró mayor severidad de la infección, mayor pigmentación (2.6 µg melanina/mg micelio) y producción de conidios. Los espectros infrarrojos de la melanina estándar y extraída coinciden con grupos de indoles, aminas secundarias, enlaces conjugados asociados a quinonas y nitrilos. Adicionalmente, los ligandos que obtuvieron menor ΔG_{bind} con las proteínas pksA, brm1, brm2, Crm1, fueron nimbolide, azadirachtina, tricloclazol y guayacol, respectivamente. Mediante HPLC se identificaron compuestos apolares y terpenoides en el extracto de acetona. Finalmente, se obtuvo mayor actividad antifúngica en tricloclazol, guayacol y extracto cetónico con CMI de 25, 500 y 1000 µg/mL, respectivamente. En conclusión, los extractos de neem presentan actividad antifúngica pero no antimelanogénica en altas concentraciones, mientras que el guayacol y tricloclazol inhiben el crecimiento y la pigmentación de *Alternaria spp*, por lo que se debe profundizar en el mecanismo de inhibición y estrategias de nanoencapsulación para pruebas in-vivo.

Palabras clave: *Alternaria*, *Opuntia ficus indica*, patogenicidad, melanina, actividad antifúngica.

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE FACTORES DE RIESGO PARA LEUCEMIA AGUDA EN NIÑOS DEL NORESTE DE MÉXICO

Cinthia Yedith Padilla García¹, Karina Janett Juárez Rendón^{1*}, Sergio Montes López²

¹Centro de Biotecnología Genómica, Blvd. del Maestro S/N esquina Elías Piña, Col.

Narciso Mendoza C.P. 88700, Reynosa, Tamaulipas, ²Unidad Académica

Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán, Calle 16 y Lago de Chapala, col. Aztlán, C.P.

88778, Reynosa Tamaulipas,

*Correo del autor principal: kjuarezr@ipn.mx

Resumen.- La leucemia es un tipo de cáncer que afecta principalmente la médula ósea. Desde el punto de vista clínico, existen 4 tipos principales: mieloides agudas, mieloides crónicas, linfoides agudas y linfoides crónicas. La leucemia linfóide aguda (LLA), es el cáncer más común en la niñez y adolescencia, el cual va a estar caracterizado por producir linfocitos inmaduros (glóbulos blancos), impidiendo la defensa correcta del cuerpo, contra infecciones. La LLA representa un problema de salud pública a nivel mundial, cuya incidencia global reportada es de 28.2% y de 34.1% a nivel nacional. La tasa de mortalidad en el país ha sido reportada en 45%. Con respecto a la génesis de la enfermedad, se ha sugerido que es de origen multifactorial, incluyendo factores genéticos, inmunológicos, epigenéticos y ambientales. El objetivo de este trabajo consistirá en identificar y analizar los principales factores de riesgo que predisponen el desarrollo de LLA en niños del noreste de México. El estudio será observacional, descriptivo, comparativo y transversal. Niños de 0 a 19 años con LLA y un grupo control de niños sanos serán analizados. Todos los participantes serán provenientes de Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León. A cada individuo se le realizará una historia clínica completa y se les tomará una muestra de sangre periférica para llevar a cabo un análisis molecular (extracción de DNA, PCR, secuenciación) de genes candidatos (2-3) para LLA previamente identificados mediante servidores bioinformáticos (STRING y Cytoscape). Los resultados serán analizados por medio de Chromas, Mega, Polyphen 2 y SIFT para identificar variantes génicas (mutaciones y polimorfismos). Por otro lado, se determinarán metales pesados en sangre (plomo, cadmio y arsénico) por medio de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, considerando los niveles límites permisibles establecidos por organismos nacionales e internacionales. La Estadística descriptiva, determinación de frecuencias alélicas y genotípicas y el análisis multivariado, será realizado con la finalidad de determinar si ambos factores podrían representar un factor de riesgo para el desarrollo de la enfermedad. Este análisis permitirá establecer estrategias eficientes para una mejor comprensión de la enfermedad, diagnóstico y un tratamiento oportuno. Además de dar pauta a futuras investigaciones.

Palabras clave: Leucemia, metales pesados, genes, secuenciación.

AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE BACTERIAS DEPREDAADORAS (BALOs) EN RIZÓSFERA DE CÍTRICOS

Cynthia Gpe. Rodríguez Quibrera^{1*}, Jong Won Park², Madhurababu Kunta², José Luis Hernández Mendoza¹, and Xianwu Guo^{1*}

¹ Centro de Biotecnología Genómica-IPN, Blvd del Maestro SN, Col. Narciso Mendoza, Reynosa, Tam., CP. 88700, ² Texas A&M University-Kingsville Citrus Center, 312 N International Blvd, Weslaco, TX 78599.

*xguo@ipn.mx, crodriguezq1200@alumno.ipn.mx

Resumen.

El Huanglongbing (HLB) es la enfermedad más devastadora de los cítricos a nivel mundial, afecta a todas las variedades de cítricos, baja el rendimiento de la cosecha y provoca la muerte de los árboles infectados. Esta enfermedad en México es causada por la bacteria Gram-negativa *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), actualmente no existe un tratamiento efectivo para combatirla, lo que hace urgente establecer medidas de control eficientes y ecológicamente seguras. En este contexto se ha propuesto el uso de bacterias depredadoras "Bdellovibrio and like organisms" (BALOs). Existe antecedente de su empleo como agentes de biocontrol en cultivos como la papa, el arroz, soya y cebolla. El objetivo de este trabajo fue el aislamiento e identificación de BALOs en suelos cultivados con cítricos. Se colectaron seis muestras en Weslaco, Texas (E.U.), y dieciocho en Veracruz, México. Los BALOs se multiplicaron en cocultivos con *E. coli* (cepa DH5 α), se purificaron mediante doble capa y se identificaron mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) utilizando iniciadores específicos para el gen 16S rRNA. La secuenciación se realizó en Eurofins Genomic. En las muestras de suelo de Texas se identificaron 11 aislados de *Bdellovibrio bacteriovorus* y 4 de *Bdellovibrio* sp, se seleccionó el aislado M4 (DO=0.167) para pruebas de depredación contra *E. coli* y *Micrococcus* sp. (DO=0.001), mostrando eficiencia determinada por la presencia de halos o zonas claras en los cocultivos. En las muestras de Veracruz se obtuvieron 16 aislados, de los cuales 7 cepas del género *Bdellovibrio* sp. fueron confirmadas por PCR. Actualmente se realizan pruebas de depredación contra *Liberibacter crescens* (Lcr) bacteria modelo de CLas. Posteriormente se seleccionará la cepa con mayor eficiencia de depredación contra Lcr, la cual será evaluada en plantas de cítricos infectadas con CLas, para su posterior secuenciación. Estos hallazgos constituyen la primera evidencia del uso de bacterias depredadoras en cítricos, y abren la posibilidad de desarrollar estrategias biológicas sostenibles para el control del HLB, ofreciendo una alternativa innovadora y respetuosa para el medio ambiente frente a una de las enfermedades más críticas de la citricultura mundial.

Palabras clave: *Bdellovibrio*, HLB, biocontrol, cítricos.

EVALUACIÓN SUCESIONAL DE REDES MULTITRÓFICAS DEL METAHOLOBIONTE DURANTE LA COLONIZACIÓN DE *Pinus leiophylla* POR *Dendroctonus* spp.

Daniel Ochoa-García¹, Francisco Armendáriz-Toledano², J. Natividad Gurrola-Reyes¹, María Berenice González-Maldonado¹, José Luis Hernández Mendoza³, Isaías Chairez-Hernández¹

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Durango, Sigma 119, Fracc. 20 de noviembre II, Durango 34230, Durango, México, ²Instituto de Biología, Departamento de Zoología, Colección Nacional de Insectos, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Zona Deportiva S/N, C.U. Coyoacán, 04510 Ciudad de México, México, ³Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Boulevard del Maestro s/n, esq. Elías Piña, Col. Narciso Mendoza, Reynosa 88710, Mexico

*ochoagarciadaniel@gmail.com

Resumen. - Los ecosistemas forestales de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. se encuentran expuestos a amenazas bióticas naturales que son lideradas por insectos descortezadores y su microbioma. Las interacciones de estos impactan en la colonización, debilitamiento y declinación fisiológica de los pinos. El objetivo de esta investigación es describir y comparar la estructura de redes multitróficas entre insectos y microbioma en diferentes etapas de declinación fisiológica y alturas verticales del pino, tomando en cuenta especies importantes como *Dendroctonus* spp., y sus depredadores y parasitoides. El muestreo se realizó en un sitio forestal, en el municipio de San Dimas, Durango, México. En el sitio se eligió un árbol para cada una de las tres fases de declinación fisiológica, de los cuales se obtuvieron 18 trozas de las secciones alta (6), media (6) y baja (6). Las trozas se llevaron al laboratorio, se colocaron en bolsas de manta cruda y se revisaron semanalmente para la recolección de los insectos emergentes. Los organismos emergidos serán identificados taxonómicamente, cuantificados y clasificados en gremios tróficos. La diversidad se evaluará mediante diversidad verdadera, curvas de rarefacción, curvas de rango-abundancia y métodos multivariados como NMDS y ANOSIM. Para caracterizar el microbioma se harán extracciones del ADN total, seguida de una secuenciación masiva (metagenómica). Con esa información, se construirán matrices de ocurrencia y abundancia que servirán para la construcción de redes de interacción utilizando índices de similitud y el método SparCC, con visualización en R. Se espera encontrar patrones espaciales y temporales en la diversidad de insectos y microbiomas, así como cambios en la estructura de las redes asociados a las fases de declinación. Asimismo, se espera encontrar taxones microbianos que tengan la función de especies núcleo, lo que permitirá determinar si su papel facilita la declinación fisiológica de los pinos. Los resultados ayudarán a una mejor comprensión de las interacciones en sistemas forestales, comprendiendo cómo las interacciones entre insectos, microorganismos y hospederos estructuran la diversidad, el funcionamiento del sistema y los procesos ecológicos.

Palabras clave: Salud forestal, redes ecológicas, umbral trófico, Sierra Madre Occidental

IDENTIFICACIÓN *in silico* DE INHIBIDORES DE ACAT1 COMO ESTRATEGIA PARA MODULAR LA CETÓLISIS EN CONDROSARCOMA SW-1353

Diego Antonio Cervantes Alvarez^{1*}, Ángel Ernesto Bañuelos Hernández¹, Aaron Mendieta Moctezuma²

¹Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Instituto Politécnico Nacional, Av. Guillermo Massieu Helguera 239, La Purísima Ticomán, Gustavo A. Madero, 07320, Ciudad de México, México, ²Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional, Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, 90700, Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala, México.

*diegoc002343@gmail.com

Resumen.- El condrosarcoma (CS) comprende un grupo de tumores óseos malignos que producen matriz cartilaginosa. Se caracteriza por su resistencia a la quimioterapia, por lo que CSs de alto grado muestran un pronóstico desfavorable debido al rápido crecimiento y propensión a metástasis. Recientemente, se ha demostrado que el silenciamiento de Acetil-CoA acetiltransferasa 1 (ACAT1, enzima clave en la cetólisis) inhibe la capacidad de proliferación de la línea celular de CS humano SW-1353 en condiciones de estrés nutricional, impidiendo que utilicen β -Hidroxibutirato (β -HB) como fuente alternativa de energía. El objetivo de este estudio fue identificar mediante aproximaciones *in silico*, compuestos químicos con potencial inhibidor de ACAT1, para posteriormente evaluar su efecto *in vitro* sobre el metabolismo de cuerpos cetónicos. Se obtuvo la estructura tridimensional 2IB8 de ACAT1 desde Protein Data Bank (PDB) para la preparación del receptor. Se extrajo la CoA cristalográfica del PDB 2IBY para realizar un acoplamiento molecular en el sitio catalítico de 2IB8 con AutoDock Vina, para obtener energías de referencia. Se recuperaron 20,503 compuestos de la biblioteca en línea PubChem con similitud estructural a Acetoacetil-CoA, de los cuales se seleccionaron aquellos con sistemas α,β -insaturados, para tener un total de 224, mismos que fueron sometidos a acoplamiento molecular con 2IB8. Se identificaron diversos compuestos candidatos con afinidades comparables o superiores al ligando de referencia CoA. Se posicionaron dentro del sitio catalítico, sugiriendo una orientación compatible con la inhibición de la enzima. Además, la proximidad del carbono β ($C\beta$) del sistema α,β -insaturado de los compuestos hacia el átomo de azufre (SG) del residuo catalítico Cys126 es comparable a la observada para el ligando de referencia (CoA). Estos compuestos representan candidatos potenciales como inhibidores de ACAT1 para su evaluación *in vitro* sobre el metabolismo de cuerpos cetónicos en células de CS humano SW-1353.

Palabras clave: Condrosarcoma, ACAT1, cetólisis, acoplamiento molecular, inhibidores.

PRODUCCIÓN Y APLICACIÓN DE BIOPOLÍMEROS CON ACTIVIDAD SURFACTANTE DE MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS DE RÍO LAGARTOS, YUCATÁN MÉXICO.

Eduardo Quitzé Vivanco Núñez¹, Jorge Yáñez Fernández², Blanca Estela Barragán Huerta^{1*}

¹Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Wilfrido Massieu 399, Gustavo A. Madero, Nueva Industrial Vallejo, 07738 Ciudad de México, Mexico, ²Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Calzada Legaria 694, Col. Irrigación 11500, Miguel Hidalgo, Ciudad de México

*bbarraga59@yahoo.com

Resumen. – En los últimos años, ha crecido el interés por el estudio y la aplicación de biosurfactantes debido a sus propiedades favorables frente a los surfactantes sintéticos, entre las que destacan su biodegradabilidad, baja toxicidad y estabilidad funcional bajo condiciones extremas. Partiendo de muestras de agua y sedimento de las salinas de la Reserva de la Biosfera Ria Lagartos se identificaron tres cepas bacterianas con actividad emulsificante: L1 y L2 y L3, siendo esta última la más destacada por su capacidad para reducir la tensión superficial del medio hasta valores cercanos a 40 dyn/cm, comportamiento típico de compuestos con fuerte acción surfactante. La actividad emulsificante de las tres cepas fue alta, alcanzando porcentajes de emulsificación del 95% (E₂₄).

La cepa L2 fue seleccionada para un análisis más profundo. Se separaron sus fracciones extracelular e intracelular para su caracterización fisicoquímica, observándose diferencias en las propiedades de emulsificación y de disminución de la tensión superficial de cada una de las fracciones. La fracción extracelular fue evaluada mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas con tiempo de vuelo (TOF LC-MS). Por otro lado, la fracción intracelular fue caracterizada mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), microscopía electrónica de barrido con espectroscopía de dispersión de energía (SEM-EDS) y cromatografía de permeación en gel (GPC). Los resultados indicaron la presencia de un biopolímero de alto peso molecular con propiedades similares a los polihidroxialcanoatos. Con el fin de evaluar el potencial biotecnológico de estos compuestos, se realizaron ensayos de actividad antifúngica mediante confrontación directa y métodos de tipo “poisoned food”. La fracción extracelular mostró actividad contra hongos fitopatógenos; se observó una inhibición del crecimiento de *Fusarium* sp. y *Curvularia* sp. con porcentajes de inhibición de 68% y 50%. Se diseñaron sistemas tipo biorreactor para la producción y recolección de las fracciones con actividad surfactante, tomando como referencia parámetros fisicoquímicos medidos *in situ*. Se determinó que un pH cercano a la neutralidad es un factor crítico para la síntesis eficiente de los compuestos de interés.

Palabras clave: Microorganismos halófilos, biosurfactantes, fitopatógenos, polihidroxialcanoatos, actividad emulsificante.

CAPACIDAD DE BIOCONTROL DE *Meyerozyma guilliermondii* LCBG-03 SOBRE PATÓGENOS DE LIMÓN DEL GÉNERO *Penicillium*.

Eliud de la Cruz García¹, José Alberto Narváez Zapata¹, Claudia Patricia Larralde Corona^{1*}

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica. Blvd. Del Maestro SN, Reynosa C.P.: 88700

*plarralde@ipn.mx

Resumen. – Los frutos cítricos son muy susceptibles a ser infectados por fitopatógenos y se pueden contaminar a través de heridas en la cáscara hechas en diferentes fases como en la recolección, el empaquetado, almacenamiento y transporte. Las principales enfermedades poscosecha en cítricos son moho verde, moho azul y podredumbre agria causadas por *Penicillium digitatum*, *P. italicum* y *Geotrichum citri-aurantii*, respectivamente. Es importante destacar que *P. digitatum* por sí mismo es el hongo causante de aproximadamente el 90 % de las pérdidas poscosecha en cítricos. La levadura *Meyerozyma guilliermondii* ha demostrado ser un antagonista eficaz contra estos y otros patógenos fúngicos en diversos frutos, destacándose por su inocuidad y seguridad para el consumo humano. En este trabajo, se realizó la confrontación *in vitro* de dos especies de *Penicillium* (*P. digitatum* EFI y *P. funiculosum* H38) con la levadura *Meyerozyma guilliermondii* LCBG-03 -provenientes del banco de cepas del Laboratorio de Biotecnología Industrial del Centro de Biotecnología Genómica. Posteriormente se realizaron tomas de muestras a diferentes distancias (0, 0.25, 0.5, 1 y 2 cm) medidas a partir de la interacción hongo-levadura para obtener el ARN necesario para estudiar los cambios transcriptómicos en *M. guilliermondii* durante su interacción bipartita con los hongos *Penicillium*. Se descubrió que *P. funiculosum* tiene mayor tasa de crecimiento *in vitro* que *P. digitatum*. Sin embargo, a una concentración de 10^6 UFC/mL, *M. guilliermondii* fue capaz de inhibir el crecimiento de ambos patógenos sin diferencias significativas (prueba HSD de Tukey, $p \leq 0.05$), alcanzando reducciones de crecimiento del 74% para *P. digitatum* y 72% para *P. funiculosum*. Al aumentar la concentración de levadura, también aumentó el porcentaje de inhibición de crecimiento de los dos hongos filamentosos. Además, las muestras recolectadas a diferentes distancias mostraron que ninguno de los hongos sobrevive más allá del punto de inoculación. Se logró extraer ARN de muestras a 0 cm, 0.25 y 0.5 cm de distancia de la competencia y se incluyó un control de levadura sin interacción para realizar el análisis transcriptómico de *M. guilliermondii*.

Palabras clave: *M. guilliermondii*, biocontrol, cítricos, *P. digitatum*

QUIMIOMETRÍA BASADA EN INFRARROJO CERCANO Y MEDIOPARA DETERMINAR PERFILES ASOCIADOS ALORÍGEN GEOGRÁFICO, ESTACIONALIDAD Y ESPECIES DE *Agave* EN MEZCALES DE DURANGO

Fabiola Avila Valenzuela¹, Enrique Herber Pucheta¹, Amanda Alejandra Oliva Hernandez², Rene Torres Ricario¹, Jose Antonio Avila Reyes¹, Isaias Chairez Hernandez¹

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional, Sigma 119, 20 de Noviembre II, 34220, Victoria de Durango, MEXICO ²Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Blvd. Del Maestro SN, Narciso Mendoza, 88710, Reynosa, Tamaulipas, MEXICO

*fabiolaavilavalenzuela@gmail.com *enrique.herbertpucheta@gmail.com

Resumen.- Durango, se consolidó en el 2024 como el segundo productor nacional de mezcal artesanal certificado, según el Consejo Mexicano de la Calidad del Mezcal, contribuyendo con el 2.5 % de la producción total □□□. La producción de mezcal certificado en Durango se limita a un grupo selecto de *Agaves* silvestres y semicultivados, tales como, *Agave duranguensis* (cenizo), *A. angustifolia* (en subvariedades castilla y tepemete), *A. maximiliana* (masparillo), *A. asperima* (lamparillo), *A. americana* (igo'k), *A. salmiana* (verde) por nombrar algunos. Con el uso de la quimiometría en conjunto con análisis espectroscópicos, específicamente en las regiones de infrarrojo medio (MIR: 4000- 400 cm⁻¹ / 2500 – 25,000 nm) y cercano (NIR: 12,000 – 4000 cm⁻¹ / 800 – 2500 nm), han demostrado ser eficaces en la verificación de la autenticidad de los mezcales [2-3]. El presente estudio muestra como estrategia el reconocimiento de señales NIR-MIR para discriminar mezcales de Durango en función de su estacionalidad y la especie de agave empleado. Para ello, se realizó un análisis comparativo de los espectros con y sin el preprocesamiento de primera derivada, empleando herramientas de estadística paramétrica y no paramétrica para determinar la robustez de los modelos de clasificación resultantes. Para que la transformación de datos espectrales en modelos multivariantes sea efectiva, es indispensable un preprocesamiento riguroso. La robustez y el poder predictivo de las herramientas estadísticas aplicadas a grandes conjuntos de muestras dependen directamente de la correcta normalización y el tratamiento previo de las señales. El uso de plataformas web como MetaboAnalyst permitió realizar análisis univariados y multivariados (PCA, PLS-DA), identificar perfiles discriminantes asociados al al origen geográfico, estacionalidad y especies de *agave* en mezcales duranguenses. La metodología mas robusta de análisis comprende una adquisición por NIR reflectancia difusa (DR), MIR por reflectancia total atenuada (ATR), en ambos casos con preprocesamiento de primera derivada (FDS) de los espectros infrarrojo, con análisis estadísticos multivariados de las matrices NIR-DR y MIR-ATR con filtrado de datos y normalización de matriz considerando comportamiento estadístico no paramétrico. Con estos parámetros, la capacidad discriminante de las matrices NIR-DR-FDS y MIR-ATR-FDS a los factores discriminantes deseados oscila o supera el 80%. Los resultados mostraron que la especie es un factor determinante en la identidad química del mezcal y en conjunto con la estacionalidad generan una variación interna distintiva.

Palabras clave: Mezcal, Quimiometría, Infrarrojo, *Agave* spp de Durango.

OBTENCIÓN DE MOLÉCULAS DERIVADAS DE HETEROCICLOS CON POTENCIAL ACTIVIDAD ANTICANCERÍGENA ASOCIADA A LA INHIBICIÓN DE ENZIMAS DE LA GLUCÓLISIS

Gilberto Vargas-Salas¹, Eyrá Liliana Ortiz-Pérez¹, Álvaro Marín-Hernández², Gildardo Rivera¹

¹ Laboratorio de Biotecnología Farmacéutica, Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, 88710, Reynosa, México.

² Departamento de Bioquímica, Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez, 14080, Tlalpan, Ciudad de México.

*gvargass2300@alumno.ipn.mx

Resumen.- El aumento en la prevalencia de pacientes diagnosticados con algún tipo de cáncer y la limitada selectividad de los tratamientos actuales que tienden a causar efectos secundarios graves, resaltan la necesidad de desarrollar nuevas estrategias terapéuticas contra el cáncer. En este contexto, la elevada actividad glucolítica de las células cancerígenas es una característica que les permite satisfacer su demanda energética y de esqueletos de carbono para su alta tasa de proliferación, por lo tanto, la glucólisis representa un blanco atractivo para el diseño de agentes anticancerígenos. El objetivo de este trabajo es obtener nuevos compuestos heterocíclicos con actividad antiproliferativa asociada a la inhibición de enzimas de la glucólisis. Para ello, se llevará a cabo un cribado virtual basado en estructura y/o en un farmacóforo y la síntesis química de nuevos compuestos heterociclos con potencial actividad inhibitoria de la gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa (GAPDH), la enolasa (ENO) y la piruvato cinasa (PYK). La actividad inhibitoria de los compuestos obtenidos se evaluará en un ensayo de actividad catalítica de las enzimas GAPDH, ENO y PYK. Posteriormente, se evaluará la actividad antiproliferativa de los mejores compuestos en líneas celulares humanas de cáncer de mama (MCF-7 y MDA-MB-231) y cervicouterino (HeLa). Además, la actividad citotóxica de los compuestos se determinará en células no tumorales humanas (MCF-10A). Los compuestos con mejor actividad biológica serán evaluados en un modelo murino de cáncer de acuerdo con la NOM-062-ZOO-1999. Hasta el momento, doce compuestos que contienen los bloques sulfonamida-triazol obtenidos por síntesis química y cuarenta derivados de 1,2,3-triazina 1-óxido se seleccionaron como potenciales agentes antiproliferativos. Los compuestos derivados de sulfonamida-triazol presentaron una baja actividad antiproliferativa (<85% a 50 μ M), sin embargo, los compuestos derivados de 1,2,3-triazina 1-óxido tuvieron una mejor actividad antiproliferativa, con valores de inhibición >90% a una concentración de 50 μ M. Estos resultados preliminares permiten identificar a los derivados de 1,2,3-triazina 1-óxido como potenciales agentes anticancerígenos que serán evaluados sobre enzimas de la glucólisis para determinar su posible mecanismo de acción.

Palabras clave: cáncer, glucólisis, síntesis química, *in silico*

BIO HYDROGEN PRODUCTION BY DARK FERMENTATION FROM PRUNING WASTE PRETREATED WITH *Trametes versicolor*

Hadia Akber Samoo^{*1}, Celestino Odín Rodríguez Nava¹

Instituto de Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco, Av. Wilfrido Massieu 399, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738 Alcaldía Gustavo A. Madero CDMX.México.

*Correo del autor principal: hsamoo2500@alumno.ipn.mx

Resumen.

This study aims an integrated approach for production of bio-hydrogen from lignocellulosic pruning waste by using biological pretreatment by white rot fungus *Trametes versicolor*, followed by dark fermentation and anaerobic digestion. Additionally, reliable analytical methods for determination of the substrate composition and for optimization of the process were elaborated. Solid-state fermentation of pruning waste by *Trametes versicolor* was performed in 500 mL flasks with 10 g of 2 mm particle size of pruning waste, inorganic medium and four g⁻¹ of fungal pellets. Reducing sugars were determined with the DNS method. The subsequent dark fermentation and anaerobic digestion were carried out in batch reactors. Biogas composition was determined using Gow-Mac Series 560 gas chromatograph with Argon 4.7 as a carrier gas at column temperature of 60 °C and detector temperature of 119 °C. The individual hydrogen peaks were processed with N2000 software. Semi-continuous reactor operation was used to determine maximum organic loading rate (OLR_{max}) of the process. Metagenomics approach was applied for bacterial community identification. The substrates were analyzed with ion exchange chromatography on an anion exchange resin. Before the chromatographic separation, gradients of NaCl in acetate buffer, pH 5.0 were used. Separated sugars were identified and quantified with HPLC and TLC. Different retention time were observed in chromatograms for glucose at 3.38-3.40 minutes, arabinose at 4.40-4.45, xylose at 7.15-7.20 minutes, galactose at 8.75-8.78 minutes, mannose at 12.55 minutes and sucrose at 9.89 minutes. Based on the results of sugar profiling, Ion exchange chromatography revealed that pruning waste is suitable for fermentation after biological pretreatment. Release of and consumption patterns of various sugars were significantly affected by solid-state fermentation by *Trametes versicolor*. By this biological approach, up to 20–40% increase in hydrogen yields is obtainable as compared to corresponding untreated substrates. Glucose and sucrose were preferentially consumed followed by other sugars that were subsequently fermented to production of acetate and butyrate as major products. Optimized process condition led to specific hydrogen production of 150–200 mL H₂/gVS. The integrated strategy consisting of fungal pretreatment by *Trametes versicolor*, dark fermentation and anaerobic digestion, and based on robust tools like ion exchange chromatography, HPLC and TLC, has potential for practical implementation for conversion of pruning waste into bio hydrogen.

Palabras clave: Bio hydrogen, dark fermentation, pruning waste, *Trametes versicolor*.

DEGRADACIÓN DE PROPRANOLOL EN SOLUCIÓN ACUOSA MEDIANTE UN REACTOR FOTOLÍTICO UBE BAJO RADIACIÓN UV-C

Irma Carolina Torrecillas-Rodríguez^{1*}, Cynthia Manuela Núñez-Núñez², José Bernardo Proal -Nájera³

^{1,3}Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional – IPN Unidad Durango, Sigma 119, 20 de noviembre II, 34220 Durango, Dgo., ²Universidad Politécnica de Durango, Carretera México Km. 45, Los Encinos, 34307 Durango, Dgo.

*itorrecillasr1800@alumno.ipn.mx

Resumen. - Con el paso del tiempo la presencia de fármacos en cuerpos de agua (océanos, ríos, lagos, etc.) se ha hecho cada vez más evidente. Pese a que se encuentran en concentraciones relativamente bajas (ng/L – mg/L) se les considera contaminantes emergentes ya que su composición química los convierte en compuestos recalcitrantes, lo que les confiere el poder de alterar e impactar negativamente el ambiente. Al ser la hipertensión una de las enfermedades más comunes en el mundo, los medicamentos antihipertensivos (β -bloqueadores) son consumidos por millones de personas diariamente en dosis que van desde 1 mg hasta 100 mg al día. Propranolol (PRO) es un fármaco β -bloqueador cuya presencia en ciertos organismos acuáticos ya ha sido documentada, ocasionando alteraciones en su desarrollo, reproducción e incluso la muerte (*Thamnocephalus platyurus*, LC_{50} 24 h, 3.86 mg/L). Debido a que los métodos actuales de tratamiento de agua residual no son efectivos para remover fármacos, se han desarrollado métodos alternativos como los procesos de oxidación avanzada (POA's) dentro de los cuales se encuentra la fotólisis ultravioleta (FL-UV) capaces de degradar contaminantes emergentes hasta su mineralización.

La degradación del fármaco comercial PRO se realizó en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA) en la Universidad de Salamanca, España empleando un reactor UBE el cual contiene en su interior una lámpara UV-C ($\lambda = 254$ nm). Se prepararon 50 L de solución acuosa con concentración de 5 mg/L de PRO. Cada experimento duró 90 minutos y se tomaron muestras en los siguientes tiempos de reacción: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60 y 90 minutos para determinar la variable de respuesta (Absorbancia). Asimismo, los experimentos de degradación se llevaron a cabo con dos valores de pH distintos (5.5 y 6.8) y en presencia (1.5 mM) y ausencia de H_2O_2 , con la finalidad de optimizar el proceso de degradación y comparar los resultados. El análisis de las muestras se llevó a cabo mediante espectrofotometría UV-vis, efectuando un barrido de 220 nm a 320 nm, considerado para abarcar el pico de absorbancia característico de PRO (292 nm). El mejor porcentaje de degradación de PRO fue 66% bajo pH ácido (5.5) y con adición de 1.5 mM de H_2O_2 , seguido de un 34% de degradación bajo el mismo pH, pero sin H_2O_2 . Por otro lado, los experimentos realizados bajo pH de 6.8 (pH natural de la solución) obtuvieron degradación de PRO ineficiente, con solo el 11% de degradación (con 1.5 mM H_2O_2) y sin degradación en ausencia de H_2O_2 . Los resultados destacan que el uso de un agente oxidante (como el H_2O_2) optimiza la remoción de contaminantes emergentes en solución acuosa debido al incremento de reacciones de reducción-oxidación (redox) que son indispensables para la degradación de contaminantes emergentes tales como el PRO.

Palabras clave: Propranolol, Contaminantes emergentes, β -bloqueadores, POA's, Fotólisis.

ESTUDIO ESTRUCTURAL DE ISOFORMAS DE TRIPSINA DIGESTIVA DE CAMARÓN *Penaeus vannamei*.

Isabel Martínez Rocha¹, Juan Carlos Sainz Hernández^{1*}, Claudia Guadalupe Benítez Cardoza², Jesús Arturo Fierro Coronado¹, Claudia Castro Martínez¹, Herveý Rodríguez González¹

¹Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Sinaloa, Bulevar Juan de Dios Bátiz Paredes #250, Colonia San Joachin Guasave, Sinaloa, México, ²Instituto Politécnico Nacional ENMH Guillermo Massieu Helguera número 239, Fraccionamiento La Escalera, Ticomán, C.P. 07320, alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México.

jsainz@ipn.mx

Resumen. - El camarón *Penaeus vannamei* presenta tres isotripsinas (tripsina 3.4.21.4.) que son expresadas en la glándula digestiva. Ellas son generadas por dos genes; la isotripsina monomórfica CC que es traducida del gen β , la expresión de este gen esta fijo y se manifiesta en los tres genotipos. El segundo gen, el gen α que puede generar una isotripsina heteromorfa BA o monomorfo BB o AA. La expresión de estos genes produce los genotipos de la tripsina digestiva CBA, CB y CA. Se investigó la estructura poblacional de estos organismos y se logró detectar la frecuencia más alta de población con fenotipo CBA 50%, seguida por CB 25%. El fenotipo CA se detectó en las primeras etapas de cultivo, sin embargo, no se detectaron en organismos con peso corporal mayor a 5 g. El estudio concluyó que la población natural es similar a la de acuicultura. Por lo tanto, los organismos que tienen el fenotipo CA mueren independientemente del medio en el que crecen, evidenciando que el gen α expresado de manera monomórfica en su alelo A es deletéreo. Se analizaron dos aspectos en este fenómeno: determinar las diferencias en la estructura entre isoformas y evaluar la estabilidad de cada una de ellas (C, B y A). Se evaluó la estabilidad conformacional mediante la técnica de dicroísmo circular bajo perturbación con variantes de pH y gradientes de temperatura 5 – 90 °C y espectroscopia de fluorescencia. Se realizó secuenciación de péptidos mediante espectrometría de masas y modelado de secuencias utilizando la plataforma YASARA. Las tres isoformas mostraron estructuras secundarias dominadas por hebras β . La isoforma A presento desestabilización temprana a pH fisiológico. El análisis de secuencias mostro una sustitución puntual de residuo (Leu $\rightarrow$ Asp) que muestra importancia, ya que su ubicación es de unión a sustrato y con implicación directa en función de la enzima tripsina. Nuestro proyecto puede proveer de fortalezas en la toma de decisiones en la producción acuícola. Podemos evitar la pérdida del 25% de la producción camarónica.

Palabras clave: Isotripsina, acuicultura, estabilidad conformacional, dicroísmo circular.

DISEÑO DE UN DETECTOR C4D-FT PARA EL ANÁLISIS DE COMPUESTOS EN BAJAS CONCENTRACIONES

Jaime Manuel Castañeda Sánchez^{1*}, Ignacio Villanueva Fierro¹, Raúl Jacobo Delgado Macuil²

¹Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Durango, Sigma #119 Fracc. 20 de Noviembre II, 34220, Durango, Dgo., México. 6181236546, ²Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5 Tlaxcala C.P. 90700, México.

*jaime_cas.91@outlook.com

Resumen.- Este proyecto presenta el desarrollo de un detector de conductividad sin contacto acoplado capacitivamente (C4D) mejorado, como método de análisis de compuestos en bajas concentraciones. La investigación se centró en implementar mejoras a nivel hardware, como la construcción de una jaula de Faraday que envuelva el detector para aislar la señal de interferencias electromagnéticas y la utilización de electrodos de plata que garantizan mayor conductividad, así como también se implementaron mejoras en el procesamiento digital de señales utilizando una metodología basada en el lenguaje de programación Python, que incluyó técnicas de filtración digital, amplificación mediante procesamiento de la señal, se aplicó la Transformada de Fourier (FFT) para aislar la señal útil del ruido y se implementaron técnicas de análisis de lock-in por software para aumentar aún más la relación señal-ruido, logrando detectar y cuantificar concentraciones mucho más bajas que las alcanzadas con detectores sin estas mejoras.

Los resultados experimentales evidenciaron la capacidad del detector mejorado para identificar soluciones de NaCl en concentraciones desde 10 ppb hasta 2 ppm. Las mediciones crudas mostraron señales muy ruidosas, pero tras la filtración digital y la aplicación de la FFT, la señal se estabilizó significativamente, permitiendo la detección confiable del analito. Comparando con mediciones en estado crudo, la relación señal-ruido mejoró hasta 50 veces, logrando evidenciar claramente la presencia de NaCl a dichas concentraciones. Dicho avance permite suponer que este enfoque puede extenderse a la detección de otro tipo de compuestos en bajas concentraciones y que debido a las características del C4D, pueda llegar a funcionar como detector universal.

Palabras clave: C4D, transformada de Fourier, análisis en bajas concentraciones.

FORMULACIONES DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS PARA EL CONTROL DE *Scirtothrips dorsalis* EN ARÁNDANO AL NORTE DE SINALOA

Jesús Uriel Hernández Armenta^{1*}, Cipriano García Gutiérrez¹, Mario Alberto Miranda Salcedo², Marco Antonio Magallanes Tapia¹, Cesar Marcial Escobedo Bonilla¹ y Jesús Lucina Romero Romero¹

¹Instituto Politécnico Nacional. COFAA. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250, Col. San Joachin, Guasave, Sinaloa, México, C. P. 81100

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Valle de Apatzingán, km 17.5 de la Carretera Apatzingán. Cuatro Caminos, Antúnez, Michoacán, C. P. 60781

*biologouriel@gmail.com

Resumen.- *Scirtothrips dorsalis* es la especie de trips más importante de arándano en Sinaloa, causa daño en pétalos, hojas y frutos reduciendo la producción de cultivo. La utilización de bioinsecticidas con hongos entomopatógenos pueden controlar a esta plaga. El objetivo del estudio fue evaluar la mortalidad en base al tiempo letal medio (LT₅₀) de *S. dorsalis* utilizando formulaciones de hongos entomopatógenos (*Cordyceps fumosorosea*, *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*) solos y en formulaciones con melaza, lecitina de soya y aceite mineral en concentraciones de 1×10^7 , 1×10^8 y 1×10^9 esporas/ml. Se llevo a cabo el diseño experimental en grupos de 10 trips con tres repeticiones por tratamiento in vitro a 28 ± 2 °C a un fotoperiodo de 10:14 horas luz-oscuridad con $60 \pm 10\%$ humedad relativa. La mortalidad se registró diariamente durante 6 días. Los hongos sin formular y formulados causaron 100% de mortalidad a los 6 y 4 días respectivamente. Los tratamientos formulados presentaron el LT₅₀ de 48 hrs y las mejores formulaciones se encontraron utilizando una curva dosis respuesta donde *M. anisopliae* a una concentración de 1×10^7 con lecitina de soya y 1×10^8 con aceite mineral; *B. bassiana* a 1×10^7 con lecitina de soya y 1×10^8 con aceite mineral; *C. fumosorosea* a 1×10^8 para lecitina de soya y melaza. Por el contrario, los tratamientos sin formular obtuvieron el LT₅₀ de 96 hrs. Los resultados de esta investigación indican que la adición de lecitina de soya y aceite mineral en *M. anisopliae* y *B. bassiana* coadyuva la acción de los hongos entomopatógenos, asimismo lecitina de soya y melaza favorece el efecto insecticida de *C. fumosorosea*. En conclusión, las formulaciones con los hongos entomopatógenos reducen el tiempo para lograr el control de *S. dorsalis* de arándano en laboratorio.

Palabras clave: *Scirtothrips dorsalis*, Arándano, *Cordyceps fumosorosea*, *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*.

ÁCIDO FÓLICO Y AMINOÁCIDOS EN LA DIETA DE CAMARÓN Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO

Jose Alonso Medina Parra^{1*}, Píndaro Álvarez Ruiz¹, Miguel Ángel Reyes López²

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-Sinaloa), Bulevar Juan de Dios Bátiz Paredes #250, Col. San Joachin, en Guasave, Sinaloa, México C. P. 81045, ²Centro de Biotecnología Genómica (CBG), Boulevard del Maestro SN, esquina con calle Elías Piña, Colonia Narciso Mendoza, Reynosa, Tamaulipas, México, C. P. 88710

jmedinap2000@alumno.ipn.mx

El camarón *Penaeus vannamei* es una de las especies acuícolas de mayor importancia económica a nivel mundial, cuya producción ha aumentado año con año gracias a las prácticas de manejo y a los alimentos enriquecidos suministrados, cuyo balance de vitaminas y aminoácidos promueve la salud y el crecimiento. No obstante, Los cultivos pueden ser afectados por enfermedades bacterianas, como la necrosis aguda del hepatopáncreas (AHPND) causada por *Vibrio parahaemolyticus*. En este contexto, El camarón atenúa estos efectos mediante la regulación transcripcional de genes inmunes; el objetivo fue determinar el efecto de dietas experimentales suplementadas con ácido fólico, glicina (Gly), glutamina (Glu) y ácido aspártico (Asp) sobre el crecimiento y la defensa del camarón contra AHPND. Se formularon 14 dietas experimentales y una dieta base (control), suplementadas con ácido fólico (2 µg/g) y diferentes concentraciones y combinaciones (2.5 y 25 mg/g) de Glu, Gly y Asp; como primera fase, camarones de 5g fueron distribuidos en 15 acuarios de 40 L con agua marina a 25 UPS (8 camarones/acuario) y alimentados durante 14 días. Se evaluó por PCR la expresión de genes de crecimiento (ATP-e, CH3, PEPCK, IGF1, PK, SGK, HK, GLU, AGL, AKT, TOR, PI3K) en hepatopáncreas de 6 organismos por acuario. Los tratamientos con mejor respuesta (Gly 2.5, Asp 2.5 y Gly+Asp 2.5) se seleccionaron para una segunda fase, junto con el control, por triplicado. Se utilizaron 12 tanques de 150 L con 10 organismos/tanque, alimentados durante 45 días. Al final, se recolectaron 24 organismos/tratamiento: 6 para análisis de expresión de genes de crecimiento (AKT, TOR, ATP-e, IGF1, PEPCK, PI3K) y 18 para un desafío con *V. parahaemolyticus* AHPND. En el desafío, se tomaron muestras de branquias de 6 organismos por tratamiento a las 0, 6 y 12 hpi para evaluar genes inmunes (MNK, SR, GILT, CTL-3, ALFP). El tratamiento T4 (Gly+Asp 2.5 mg/g) indujo la mayor sobreexpresión de genes de crecimiento como AKT, TOR e IGF1, sugiriendo activación de la vía de señalización de insulina y síntesis proteica. En contraste, el T2 (Gly 2.5 mg/g) promovió un mayor incremento en peso corporal, indicando que la glicina sola podría favorecer el crecimiento somático. Respecto a la respuesta inmune, el T4 también destacó incrementando la expresión de genes como ALFP y CTL-3 a las 12 hpi, reflejando una mayor capacidad de defensa contra *V. parahaemolyticus*. Los resultados respaldan estudios previos que muestran beneficios de los aminoácidos en la inmunomodulación de crustáceos. La combinación de glicina y aspartato, junto con ácido fólico, podría potenciar tanto el crecimiento como la resistencia a enfermedades, ofreciendo una estrategia nutricional prometedora para el cultivo de camarón. Futuros estudios deberían evaluar dosis óptimas y efectos a largo plazo en condiciones de campo. La suplementación con ácido fólico y la combinación de Gly+Asp a 2.5 mg/g de alimento mejora la expresión de genes de crecimiento (AKT, TOR) e inmunidad (ALFP, CTL-3) en camarón, asociándose a mayor peso y resistencia a *V. parahaemolyticus*. Estos hallazgos destacan el potencial de estas dietas para optimizar la salud y productividad en acuicultura.

Palabras clave: Camarón, acuicultura, aminoácidos, vitaminas, crecimiento



DESARROLLO DE SOLUCIONES COLOIDALES DE NPsAg-EXTRACTOS METANÓLICOS DE PLANTAS TAMAULIPECAS CON ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ANTIPROLIFERATIVA

José Efraín Caballero Chávez¹, Diana Victoria Navarrete Carriola¹, Alma Delia Paz González¹, Fabiola Eloísa Jiménez Montejo², Gildardo Rivera Sánchez^{1*}

¹ Laboratorio de Biotecnología Farmacéutica Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Blvd. Del Maestro SN, 88710 Reynosa, Tamaulipas

² Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, Mexico

*giriveras@ipn.mx

Resumen: Las plantas biosintetizan metabolitos secundarios (glucósidos, terpenoides, alcaloides y polifenoles) que se extraen a partir de distintos métodos y solventes, pudiendo tener diversas bioactividades. Por otra parte, en Tamaulipas se registran 2,388 especies nativas, mayoritariamente Magnoliophyta (2,170), junto a Gymnospermae, Monilophyta, Lycophyta, Bryophyta, Chlorophyta y Rhodaria. Debido a esta amplia biodiversidad florística, se seleccionaron especies representantes de cada grupo: *Centroceras clavulatum*, *Ulva flexuosa*, *Marchantia inflexa*, *Selaginella lepidophylla*, *Thelypteris ovata*, *Equisetum myriochaetum*, *Dioon angustifolium*, *Taxodium mucronatum*, *Beaucarnea recurvata* y *Magnolia alejandrae* para la obtención de extractos metanólicos con el objetivo de elucidar su perfil fitoquímico, evaluar su actividad antioxidante, antiproliferativa y biocatalizadora para la síntesis de nanopartículas de plata. Las colectas se realizaron en Los San Pedros, Los Troncones y La Pesca durante noviembre de 2025, enero de 2026 y febrero de 2026, respectivamente. De cada especie se calculó el porcentaje de humedad y se realizaron extractos metanólicos por medio de los métodos de maceración, ultrasonificación y soxhlet, calculando el rendimiento de extracción. La identificación molecular se llevará a cabo con el protocolo de extracción de ADNg QIAGEN DNeasy Plant, amplificándose por medio de PCR (*primers* ITS1/ITS4) y el alineamiento se realizará a través de BLAST. Para el análisis fitoquímico, se empleará el equipo UPLC-MS QDA® Waters, columna ACQUITY UPLC CORTECS® C18 1.6 μm 3 x 100 mm. Los pesos moleculares se contrastarán con los ya reportados en la base de datos LOTUS para cada género de plantas. La actividad antioxidante se evaluará por medio de los métodos DPPH y ABTS. Posteriormente, la actividad antiproliferativa se evaluará sobre las líneas celulares cancerosas HeLa, MCF-7 y MDA-MB-231. Los extractos con el mejor IC₅₀ se seleccionarán como biocatalizadores para la síntesis de NPsAg a partir de AgNO₃ como sustrato. Los resultados preliminares determinan que el porcentaje de humedad de los órganos vegetales varía entre 7.7% (corteza de *T. mucronatum*) y 63.7% (Hoja de *M. alejandrae*), mientras que el rendimiento de extracción oscila entre 5 y 15% para maceración, 10 y 21% para ultrasonido. El método de ultrasonido ha demostrado ser más eficiente que la maceración convencional, alcanzando rendimientos de extracción de hasta el 21% (hoja de *T. mucronatum*). Este trabajo sienta las bases para la identificación de perfiles quimiotaxonómicos específicos.

Palabras clave: Extractos, Plantas, Fitoquímica, Nativo.

IDENTIFICACIÓN DEL CONSORCIO MICROBIANO A TRAVÉS DE HERRAMIENTAS MOLECULARES EN UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE VINAZAS

Kimberly Janeth Galindo González^{1*}, Marco Antonio Garzón Zuñiga¹, Carlos Galaviz Hernández¹, Martha Guadalupe Sosa Macías¹, José Alberto Narváez Zapata², Juan Manuel Vigueras Cortés¹

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (IPN-CIIDIR Unidad Durango). Sigma 119, Col. 20 de Noviembre II, 34220, Durango, Dgo.

²Centro de Biotecnología Genómica (CBG) del IPN, Blvrd del Maestro S/N, esq Elías Piña, Col. Narciso Mendoza, 88700. Reynosa, Tamaulipas.

*kgalindog2500@alumno.ipn.mx, mviguer@ipn.mx

Resumen. - El mezcal se ha convertido en un desarrollo económico del país debido a la expansión en el mercado nacional e internacional aceptado en más de 90 países. Durante el proceso de elaboración se genera un residuo líquido ácido y recalcitrante agresivo para el ambiente conocido como vinazas, que ocasiona una problemática ambiental, ya que contamina cuerpos receptores cuando son vertidos sin tratamiento. En esta investigación se estudiará su tratamiento con biofiltros anaerobios (BF) con empaque orgánico e inorgánico, que tienen múltiples beneficios por bajos costos de operación, eficientes en la remoción de materia orgánica y producción de biocombustible. Debido al poco conocimiento de la composición de población microbiana responsable de la degradación de vinazas de mezcal artesanal se plantea como objetivo central identificar la comunidad microbiana (biopelícula) desarrollada en el proceso de biofiltración en tres etapas: la primera será después de alcanzar la etapa de acondicionamiento, las dos siguientes después de modificar la carga orgánica volumétrica con al menos dos cargas hidráulicas superficiales a través de la co-digestión de la mezcla vinaza-agua residual empleando dos biofiltros, uno empacado con astillas de mezquite y el segundo piedra volcánica (tezontle). La biopelícula desarrollada en el material de empaque se identificará en tres secciones de diferentes alturas en cada biofiltro través del análisis metagenómico del gen 16S RNA por secuenciación de última generación para así llevar a cabo una identificación del consorcio microbiano. A través de dendogramas y porcentaje de similitud, y comparación con bibliotecas se determinarán los géneros y especies que componen la comunidad microbiana. Además, se hará la comparación de la biopelícula entre los materiales filtrantes en las diferentes etapas del proceso, identificando la abundancia de especies que remueven contaminantes de vinazas. A lo largo de la investigación se evaluará la remoción de materia orgánica medida por la DQO y DBO₅ así como la generación del biocombustible (metano) bajo condiciones controladas de temperatura mesofílica. Finalmente, se evaluará la producción de biocombustible y determinar si las diferencias en el consorcio bacteriano durante los cambios operativos del sistema están relacionadas con dicha producción. Los resultados darán pauta para futuras investigaciones en la producción de consorcios específicos para mejorar, a través del escalamiento del proceso, la eficiencia del tratamiento de vinazas de mezcal artesanal en apoyo a productores de nuestro país.

Palabras clave: material metagenómico, comunidad microbiana, biofiltración anaerobia

DISTRIBUCIÓN FILOGENÉTICA DE *Campylobacter* spp. MULTIRRESISTENTE EN LA PRODUCCIÓN DE CARNE BOVINA

Kristell Amairany Rodríguez Chávez¹, Jose Vazquez Villanueva², Virgilio Bocanegra García^{1*}

¹Centro de Biotecnología Genómica IPN, Blvd. Del Maestro SN, Narciso Mendoza, 88710 Reynosa, Tamps. ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UAT, Km. 5 Carretera Cd. Victoria – Cd. Mante Ejido Santa Librada, 87000 Cd. Victoria, Tamps.

*vbocanegra@ipn.mx

Resumen.- *Campylobacter* spp. es un patógeno gastrointestinal presente en animales de sangre caliente y se considera una de las cuatro principales causas mundiales de enfermedad diarreica en humanos (campilobacteriosis) que incluso puede derivar complicaciones como el síndrome de Guillain- Barré, por lo cual, esta bacteria puede actuar como un contaminante en alimentos, particularmente en distintos tipos de carne, representando un problema para la salud pública. Si bien, la mayoría de las cepas ocasiona infecciones tratables con síntomas leves como vómito o diarrea, algunas de ellas pueden desarrollar resistencia a antibióticos, complicando el tratamiento de la infección y llegando incluso a la muerte del paciente. Por tal motivo, *Campylobacter* spp. transmitida en alimentos representa un riesgo relevante para la salud pública, especialmente cuando se trata de cepas multirresistentes, sin embargo, a pesar de ser una problemática mundial, en México existen pocos estudios sobre la presencia de *Campylobacter* spp. en alimentos. Por lo que el objetivo de este trabajo es determinar la prevalencia de cepas *Campylobacter* spp. multirresistente y su distribución filogenética en la cadena productiva de carne de res en Tamaulipas. Para lo cual se realizará un muestreo durante 12 meses en la cadena productiva de carne de res, considerando 4 puntos de interés: muestras fecales del ganado, muestras de la canal, superficies del rastro y carne de res como producto final. Posteriormente se realizará un aislamiento e identificación de *Campylobacter* spp. utilizando un medio selectivo llamado CHROMagar™ *Campylobacter* y VITEK 2 para la identificación de especie. Teniendo la especie confirmada, se realizará una prueba de susceptibilidad a antibióticos a cada una de las cepas mediante el método de difusión en placa (Kirby-Bauer) siguiendo los criterios del CLSI y EUCAST. Asimismo, se buscará detectar 13 factores de virulencia relevantes en salud pública mediante la técnica PCR, además, se identificará el viruloma y resistoma de cepas multirresistentes y se analizará su distribución filogenética para entender el origen de las cepas multirresistentes. Como conclusión, este estudio aportará bases científicas para futuras investigaciones sobre *Campylobacter* spp. multirresistente en alimentos y su potencial riesgo para la salud pública, además, permitirá identificar puntos críticos de contaminación en la cadena productiva de carne de res.

Palabras clave: *Campylobacter* spp, seguridad alimentaria, resistencia a antibióticos.

ACTIVACIÓN Y ACLIMATACIÓN DE INÓCULO PARA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN DOS ETAPAS CON VINAZAS DE MEZCAL

Leticia Guadalupe Ríos Núñez^{1*}, Blanca Estela Barragan Huerta², Edson Baltazar Estrada Arriaga³, Juan Manuel Vigueras Cortés¹, Marco Antonio Garzón Zúñiga^{1*}

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango, Durango, México. ²Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), Unidad Zacatenco, Ciudad de México, México, ³Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Jiutepec, Morelos, México.

*mgarzon@ipn.mx, lriosn2500@alumno.ipn.mx

Resumen. -El presente trabajo evaluó la etapa de activación y aclimatación de lodos anaerobios para el tratamiento de vinazas de mezcal de *Agave durangensis*, en dos reactores tipo SBR independientes para fermentación oscura (FO) y digestión anaerobia (DA) ambos operados a $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, con un volumen operativo de 1.5 L. El inóculo empleado consistió en lodo proveniente de la etapa anóxica de la PTAR Sur en Durango, Dgo. El reactor FO se operó a un pH de 5.5 ± 0.2 , el inóculo recibió un pretratamiento térmico (105°C , 24h), para seleccionar bacterias esporuladas. La activación del inóculo se realizó en el reactor FO (Etapa 0) con 1% de vinaza y 2 g/L de glucosa y posteriormente se aclimato en tres etapas con incrementos graduales de vinaza (15%, 40% y 65% v/v) y reducciones de glucosa (0.5, 0.125 y 0.05 g/L), con el objetivo de favorecer la adaptación progresiva del consorcio microbiano a los compuestos tóxicos y carbohidratos presentes en la vinaza, cada etapa en el reactor FO se operó en 3 ciclos de 3 días. Por otro lado, el reactor DA fue operado a un pH de 7.0 ± 0.2 , el inóculo se utilizó sin pretratamiento tras 48 h de atemperado para preservar la actividad metanogénica, pasando directamente a las tres etapas de aclimatación bajo las mismas concentraciones de vinaza y glucosa que en el reactor FO, en 3 ciclos de 6 días cada etapa. Los resultados mostraron que en el reactor DA se alcanzó una eficiencia de remoción de DQO de 60.2% durante la etapa 1. Sin embargo, al incrementar la carga orgánica al 65% (Etapa 3) la eficiencia de remoción se mantuvo entre un 10 -15% lo que sugiere un efecto inhibitorio asociado a la composición tóxica de la vinaza, por otro lado, la producción de biogás mostro una tendencia ascendente, alcanzando valores acumulados de 2190 mL por ciclo en la Etapa 2, con picos diarios de hasta 1300 mL/día, lo que indica una adaptación progresiva del consorcio metanogénico. En cuanto a los AGVs del DA, se observó que, a pesar de su alta carga orgánica, el sistema mantuvo la capacidad de asimilación de los ácidos grasos producidos. En el reactor de FO, desde su etapa de activación se observó el incremento en la generación y acumulación (AGVs), registrando incrementos de hasta 1051 mg/ L AGV's en la etapa del 40% de vinaza y una producción de biogas de hasta 1500 mL/ día en la Etapa 3, lo que indica una actividad fermentativa activa, adicionalmente presento remoción de DQO de hasta 3300 mg/L, lo que indica que la materia orgánica se transformó en precursores fermentativos (AGVs). En conjunto, estos resultados muestran que la activación y aclimatación escalonada y el pretratamiento térmico permitió que el consorcio microbiano tanto de DA y FO se adaptara a la toxicidad de la vinaza y aprovechara los carbohidratos complejos, logrando la producción de biogas y permitiendo integrar en un futuro el efluente de FO rico en AGV's como influente para el sistema metanogénico.

Palabras clave: *Agave durangensis*, Vinazas de mezcal, Biocombustibles, Fermentación oscura, Digestión anaerobia.

ANÁLISIS ESPECTROSCÓPICO Y COLORIMÉTRICO DE EXTRACTOS DE *Curcuma longa* OBTENIDOS POR DISTINTOS MÉTODOS, PARA NANOENCAPSULACIÓN Y POSIBLES APLICACIONES EN EL TRATAMIENTO DE ENFERMEDADES NEURODEGENERATIVAS

Lilian Azucena Barceinas Gheno^{1*}, Francisca Pérez Severiano², Marlon Rojas López¹
¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala. C.P 90700, México; ² Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. Av. Insurgentes sur, La Fama, Ciudad de México

[*lbarceinasg2300@alumno.ipn.mx](mailto:lbarceinasg2300@alumno.ipn.mx); lilian.barceinas@gmail.com

Resumen. - Las enfermedades neurodegenerativas (EN) constituyen un grupo de trastornos progresivos que causan daño en el sistema nervioso central (SNC), generando una pérdida neuronal considerable, disminuyendo la funcionalidad e independencia personal, afectando negativamente la calidad de vida de millones de personas en todo el mundo. Dentro de las enfermedades neurodegenerativas, se encuentra la enfermedad de Huntington (EH), ésta es una enfermedad genética heredable muy rara la cual afecta el sistema nervioso central, provocando múltiples síntomas al paciente y una calidad de vida poco deseable. A pesar de que la EH tiene una incidencia de 5-10 personas por cada 10000 habitantes, el tratamiento se limita a la reducción de síntomas, que, al mismo tiempo, provoca efectos secundarios a los pacientes. Se ha reportado que algunas especies vegetales como la Cúrcuma (*Curcuma longa*) tienen Fito-compuestos como flavonoides, polifenoles y alcaloides que tienen propiedades antiinflamatorias y antioxidantes que resultan ser benéficas para el sistema nervioso central. Uno de los metabolitos presentes en la raíz de esta planta es la curcumina, que, al ser un compuesto fenólico, es un candidato destacado para el tratamiento de diversas EN como la EH. Para este trabajo se utilizaron raíces de cúrcuma obtenidas del municipio de XXXX, Puebla; estas se lavaron, desinfectaron, liofilizaron y molieron. Al polvo resultante se le realizaron 2 tipos de extracciones: maceración (24h y 48 h) y sonicación. Las variables implementadas fueron: la concentración o relación p/v (1:10, 1:20, 1:30) de la muestra de polvo, así como el factor de dilución etanol: agua a la que fueron diluidas (70%, 80%, 90% y etanol absoluto). Para la extracción por maceración se dejaron reposar las distintas concentraciones en frascos ámbar por 24 y 48 horas; mientras que para la extracción por sonicación se colocaron en frascos ámbar y se sonicaron durante 30 minutos. Al finalizar las extracciones, todas las muestras se filtraron con papel, y se eliminó el solvente mediante rotavapor hasta secar por completo. Finalmente, la muestra se recuperó en etanol absoluto dejando secar a temperatura ambiente. Se evaluó el rendimiento de cada extracción y se analizó cada ensayo mediante espectroscopía FTIR, y pruebas colorimétricas, para la obtención de superficies de respuesta.

Palabras clave: extracción, curcumina, *Curcuma longa*, fenoles, Enfermedad de Huntington.

EFEECTO DE LA SEMAGLUTIDA EN LA INDUCCIÓN DEL CÁNCER DE MAMA EN CONDICIONES DE OBESIDAD.

Lourdes Alejandra Figueroa Vilchis¹, María Eugenia Jaramillo Flores¹

¹Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco, Av. Wilfrido Massieu 399, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738 Alcaldía Gustavo A. Madero CDMX. México.

[*lfigueroav2500@alumno.ipn.mx](mailto:lfigueroav2500@alumno.ipn.mx)

Resumen.-

El cáncer es un conjunto de enfermedades caracterizadas por un crecimiento celular desregulado, invasión local de tejidos y potencial para desarrollar metástasis a sitios distantes, con un incremento constante en incidencia y mortalidad. Entre los principales factores de riesgo para desarrollar cáncer se encuentra la obesidad, que se define como la acumulación excesiva de grasa perjudicial para la salud. Uno de los tratamientos utilizados para pacientes con obesidad son los agonistas del receptor GLP-1, como la semaglutida o liraglutida; que son proteínas sintéticas que imitan la función de GLP-1, una hormona clave en la homeostasis de la insulina y el glucagón; sin embargo, estudios recientes sugieren que podría ser un factor de riesgo para desarrollar diferentes tipos de cáncer. El objetivo del presente proyecto es determinar el efecto de semaglutida en la regulación de mediadores moleculares implicados en progresión tumoral del cáncer de mama. Para ello se usarán como modelo diferentes líneas celulares: MCF-10AT, MCF-7 y MDA-MB-231, las cuales se tratarán con medio condicionado por células 3T3-L1, 3T3-L1 con RAW264.7 y suero de pacientes obesos, mismos que serán caracterizados. Se analizará el efecto del tratamiento de las células de cáncer de mama mediante ensayos de proliferación celular, cuantificación de ATP, resistencia a apoptosis, captación de glucosa y ácidos grasos, especies reactivas del oxígeno, y ensayos de migración e invasión celular. Posteriormente, se analizará la expresión de GLP-R1, IR, NRF2, HIF-1 α , NOX4 y VEGF en las líneas celulares mediante RT-qPCR.

Palabras clave: cáncer de mama, obesidad, adipocitos, agonista del receptor GLP-1.

ANÁLISIS MULTI-ÓMICOS PARA DESCIFRAR EL PROCESO INFECTIVO DE *Candidatus Liberibacter asiaticus* EN LIMÓN MEXICANO

Luisa Fernanda Ramos Bojórquez^{1*}, Norma Elena Leyva López^{1*}

¹ CIIDIR-IPN, Unidad Sinaloa, Juan de Dios Bátiz Paredes 250, Col. San Joaquín, Guasave, Sinaloa 81101, México.

*lramosb2100@alumno.ipn.mx , neleyval@ipn.mx

Resumen.- El Huanglongbing (HLB) es de las enfermedades más devastadoras en la citricultura mundial, comprometiendo la producción y calidad de los cítricos. El HLB es causado principalmente por la bacteria no cultivable *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), transmitida por el psílido asiático *Diaphorina citri*. Debido a que la bacteria es no cultivable, su comportamiento debe estudiarse directamente en la planta. Diversas investigaciones han descrito alteraciones fisiológicas y moleculares inducidas por el HLB en especies susceptibles y tolerantes a la enfermedad; estas incluyen la disfunción del floema por obstrucción, acumulación de almidón, clorosis, menor tasa fotosintética, deformación del fruto y retraso en el crecimiento. A nivel molecular, la infección provoca reprogramación transcripcional reflejada en cambios en expresión génica (DEGs) y la activación o inhibición de factores de transcripción (WRKY, MYB, etc), alteraciones en el metabolismo energético y secundario, así como en procesos de defensa y estrés oxidativo, lo que refleja una respuesta compleja del hospedero frente al patógeno, lo que hace necesario el uso de enfoques ómicos integrativos para comprender la respuesta de la planta a la infección. El uso de herramientas de biología molecular, como la secuenciación de RNA (RNA-Seq), y técnicas como la de cromatografía líquida de ultra alta resolución acoplada a espectrometría de masas en tándem (UHPLC-MS/MS), ha permitido caracterizar de manera integral los cambios transcriptómicos y metabolómicos asociados a la infección. Debido a que siguen siendo escasos los trabajos en limón mexicano (*Citrus aurantifolia*), el objetivo de la presente investigación plantea caracterizar la dinámica de la respuesta del limón mexicano a la infección por CLas mediante un enfoque multiómico. Para ello se realizarán muestreos a las 4, 8, 16 y 32 semanas post inoculación, se obtendrán los perfiles metabolómicos por UHPLC-MS/MS, con énfasis al metabolismo secundario asociados a la defensa vegetal, y perfiles transcriptómicos mediante RNA-Seq para identificar la expresión diferencial de los genes asociados a respuestas de defensa y regulaciones metabólicas. La integración de ambos conjuntos de datos se llevará a cabo mediante enfoques de análisis de redes de co-expresión, con el fin de identificar módulos funcionales y genes o metabolitos clave asociados a la respuesta frente a la infección. Este enfoque nos aportará una visión integral de los procesos moleculares y metabólicos involucrados en la respuesta del limón mexicano frente al HLB y contribuirá a generar bases para futuros estudios orientados al manejo y mejoramiento del limón mexicano.

Palabras clave: Huanglongbing; *Citrus aurantifolia*; Respuestas de defensa; Transcriptómica; Metabolómica.

ANÁLISIS TRANSCRIPTÓMICO Y METABOLÓMICO DE *Bacillus velezensis* COD2 COMO ANTAGONISTA DE *Fusarium verticillioides* Y PROMOTOR VEGETAL

María Elena Camacho Leyva¹, Melina López Meyer¹

¹CIIDIR - Unidad Sinaloa, a las Glorias, San Juachin, 81049 Guasave, Sin.

mariacamacho@uas.edu.mx

En México, el maíz constituye el principal cultivo; sin embargo, su producción enfrenta desafíos crecientes asociados al deterioro del suelo, la presión de enfermedades y los efectos del uso intensivo de agroquímicos. Este contexto ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles, entre las que destaca el uso de microorganismos benéficos. Estos organismos favorecen una absorción más eficiente de nutrientes, incrementan la tolerancia al estrés y contribuyen a la protección frente a patógenos. En el cultivo de maíz, el hongo fitopatógeno *Fusarium verticillioides* destaca por su capacidad para causar pudrición del tallo, la raíz y la mazorca, además de producir fumonisinas, micotoxinas que representan un riesgo para la salud humana y animal. Por su parte, *Bacillus velezensis* ha emergido como un microorganismo benéfico de gran interés debido a su doble funcionalidad: la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de enfermedades. Experimentos preliminares realizados por nuestro grupo indican que *B. velezensis* cepa COD2 presenta actividad antagonista frente a *F. verticillioides* in vitro y posee potencial como promotora del crecimiento vegetal. El genoma de esta cepa ya ha sido secuenciado, identificándose genes asociados a la producción de sideróforos, auxinas y ACC deaminasa. Sin embargo, la respuesta transcripcional de la bacteria, así como los metabolitos que secreta durante su interacción con el patógeno y con la planta, aún no han sido caracterizados. En este proyecto se propone evaluar la capacidad de *B. velezensis* cepa COD2 como promotora del crecimiento vegetal en maíz, así como confirmar, en condiciones in planta, su actividad antagonista frente a *F. verticillioides*. Adicionalmente, se analizarán el transcriptoma y el metaboloma de COD2 durante su interacción tanto con el patógeno como con la planta. Para ello, *B. velezensis* COD2 será cocultivada con *F. verticillioides*, y se tomarán muestras a las 24 y 36 horas post-inoculación (hpi), eliminando el micelio fúngico mediante filtración. El medio de cultivo se separará de las células bacterianas por centrifugación y filtración, con el fin de extraer y secuenciar el RNA bacteriano, mientras que el sobrenadante será utilizado para el análisis metabolómico. Para estudiar la interacción con raíces de maíz, plántulas se cultivarán en medio nutritivo líquido inoculado con COD2. Se colectarán muestras a las 48 y 72 hpi, recuperando células bacterianas y medio libre de células para análisis transcriptómicos y metabolómicos. La secuenciación se realizará en la plataforma Illumina NextSeq 500. El alineamiento se llevará a cabo con STAR v2.7.0, la cuantificación con HTSeq-count v0.11.2 y el análisis de expresión diferencial mediante R/DESeq2 v1.32. Se realizarán análisis de Gene Ontology, KEGG y enriquecimiento de rutas metabólicas. El metaboloma se analizará de manera no dirigida mediante UPLC-PDA-HESI-Orbitrap-MS/MS. La identificación de compuestos se realizará utilizando mzCloud, MassBank of North America, ChemSpider y PubChem, junto con el análisis de fragmentación. En conjunto, este enfoque permitirá dilucidar los mecanismos moleculares que subyacen a la interacción de COD2 con *F. verticillioides* y con la planta de maíz.

Palabras clave: Biocontrol, promoción del crecimiento vegetal, rizobacterias (PGPR), transcriptómica, metabolómica.

EFFECTO ANTITUMORAL DE *Cicer arietinum* L EN UN MODELO MURINO DE CÁNCER DE MAMA BIOLUMINISCENTE 4T1-FFLUC-2H11

Maricarmen Lara-Rodríguez¹, María del Consuelo Gómez-García², Cristian Jiménez-Martínez^{1*}

¹Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomás, Miguel Hidalgo, C.P. 11340, Ciudad de México, México.

²Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Instituto Politécnico Nacional. Guillermo Massieu Helguera 239, La Escalera, Gustavo A. Madero, C.P. 07320, Ciudad de México, México.*Correo electrónico: mlarar922@gmail.com

Resumen. El cáncer de mama presenta altas tasas de mortalidad debido a la resistencia tumoral y los efectos secundarios de las terapias convencionales. En este contexto, los compuestos bioactivos derivados de las leguminosas constituyen una alternativa prometedora. En el presente trabajo se evaluó el efecto de la germinación de *Cicer arietinum* L bajo condiciones de estrés oxidativo con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) sobre el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, así como sobre su actividad antioxidante. A partir de las harinas obtenidas, se prepararon extractos que fueron caracterizados mediante métodos colorimétricos y ensayos de actividad antioxidante, así como mediante técnicas avanzadas, como imágenes hiperespectrales. Los resultados mostraron que la germinación con H₂O₂ incrementó los niveles de compuestos fenólicos y flavonoides, lo que se correlacionó con una mayor actividad antioxidante. Estos hallazgos sugieren que el garbanzo germinado con H₂O₂ constituye una fuente de compuestos con potencial actividad antitumoral, aunque se requieren estudios adicionales *in vitro* e *in vivo* para confirmar su eficacia.

Palabras clave: *Cicer arietinum* L, isoflavonas, cáncer de mama, antioxidantes, bioluminiscencia.

Introducción

El cáncer es un conjunto de enfermedades de origen multifactorial que se caracteriza por una proliferación celular descontrolada (Hanahan 2022). Aunque existen terapias convencionales efectivas, la resistencia tumoral y los efectos secundarios severos limitan su eficacia, por lo que se buscan alternativas más específicas, eficaces y menos invasivas. Las isoflavonas (del grupo de los compuestos fenólicos) poseen una estructura similar a la de los estrógenos de mamíferos, lo que les permite unirse a los receptores de estrógeno y ejercer efectos tanto estrogénicos, como antiestrogénicos (Arora et al. 2023). Estudios *in vitro* han demostrado que las isoflavonas presentes en el garbanzo *Cicer arietinum* L. inducen apoptosis, inhiben la angiogénesis y reducen la proliferación celular en modelos de cáncer de mama (Zakłos-Szyda et al. 2020). Además, se ha reportado que el proceso de germinación incrementa la producción de estos metabolitos, alcanzando hasta 100 veces más su contenido con el uso de elicitores como el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) (Domínguez-Arispuro et al. 2021). Para evaluar el potencial terapéutico de estos compuestos, es necesario el uso de modelos animales que permitan replicar la enfermedad en condiciones fisiológicas. Sin embargo, la investigación biomédica debe considerar principios bioéticos como las tres R (reemplazo, reducción y refinamiento). En este sentido, los modelos murinos con genes reporteros de bioluminiscencia permiten monitorear de manera no invasiva el crecimiento tumoral y la respuesta a los tratamientos, y reducen el número de animales y de procedimientos invasivos

EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE POLIETILENO POR HONGOS DEL GÉNERO *Fusarium*

Miguel Cuahquentzi Sánchez¹, Claudia Patricia Larralde Corona^{1*}, María del Carmen Sánchez Hernández^{2**}.

¹Doctorado en Ciencias en Biotecnología, Centro de Biotecnología Genómica, Blvd del Maestro SN, Narciso Mendoza, C.P. 88710 Reynosa, Tamaulipas, México., ²Laboratorio de Biotecnología, Centro de Investigación en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Ixtacuixtla, C.P. 90120, Tlaxcala México.

*plarralde@ipn.mx; **carmen.sanchezh@uatx.mx

Resumen

El polietileno (PE) es un polímero derivado del petróleo ampliamente utilizado en sectores industriales y domésticos debido a su bajo costo, estabilidad química y versatilidad estructural. Sin embargo, su conformación basada en cadenas largas de carbono no polares y su elevado peso molecular le confieren una alta resistencia a la degradación natural, contribuyendo al incremento de efectos adversos sobre procesos ecológicos y sobre la integridad de las comunidades biológicas. Ante esta problemática, la degradación microbiana representa una alternativa prometedora, ya que se ha demostrado que algunos microorganismos poseen la capacidad de despolimerizar plásticos mediante la secreción de enzimas. En particular, los hongos filamentosos destacan por su capacidad para colonizar superficies hidrofóbicas, secretar enzimas extracelulares y generar transformaciones fisicoquímicas detectables en polímeros como el PE. Especies del género *Fusarium* han sido objeto de interés debido a su adaptabilidad a condiciones ambientales variables, su afinidad por sustratos hidrofóbicos y su capacidad para producir enzimas extracelulares asociadas a la degradación de compuestos estructuralmente complejos, incluidos los lignocelulósicos. Las investigaciones sobre la degradación de PE por hongos han empleado metodologías como la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y la microscopía electrónica de barrido (SEM), las cuales han permitido evidenciar la formación de grupos funcionales oxigenados y el deterioro de la superficie, confirmando la existencia de procesos degradativos asociados a la actividad microbiana. Asimismo, se han reportado enzimas oxidativas e hidrolíticas potencialmente involucradas como esterasas, lacasas y peroxigenasas. Sin embargo, su naturaleza específica y su regulación en *Fusarium* durante la exposición al PE no han sido completamente caracterizadas. La identificación de genes clave, patrones de regulación génica y proteínas extracelulares asociadas a este proceso es fundamental para comprender la respuesta metabólica del hongo frente al PE. Por ello, estudios sobre transcriptómica permitirán caracterizar la regulación génica en condiciones específicas de cultivo, identificando genes relacionados con la degradación y asimilación del polietileno. En este sentido, la investigación propuesta busca caracterizar de manera integral la expresión génica y el perfil proteico de especies del género *Fusarium* durante su crecimiento sobre polietileno, con el propósito de identificar las enzimas, procesos metabólicos y rutas moleculares implicadas en su degradación.

Palabras clave: Polietileno, biodegradación, enzimas, *Fusarium*, transcriptómica.

HIDROLIZADO DE MÚSCULO DE CAMARÓN INFECTADO CON VIRUS DE LA MANCHA BLANCA, COMO INDUCTOR DE RESISTENCIA CONTRA WSSV EN *Penaeus vannamei*.

Nallely Michelle Panduro López^{1*}, Píndaro Álvarez Ruiz¹, Hervey Rodríguez Gonzalez¹, Erika Torres Ochoa²

¹Centro de Investigación Interdisciplinario para el desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa, Juan de Dios Bátiz #250, Col. San Joachin, en Guasave, Sinaloa, México.

²Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Ingeniería en Pesquerías, Carretera al Sur km 5.5 C. P. 23080. La Paz, B. C. S.

[*Nallelypanduro66@gmail.com](mailto:Nallelypanduro66@gmail.com)

Resumen.- La camaronicultura es una actividad comercial clave, siendo *Penaeus vannamei* y *Penaeus monodon* las especies más cultivadas a nivel global. No obstante, esta industria se ha visto amenazada por la presencia de enfermedades, especialmente de origen viral. El virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) es uno de los patógenos más estudiados, debido a su virulencia y mortalidad; Además, cuenta con un genoma que codifica tanto proteínas estructurales como no estructurales, las estructurales tienen un papel clave durante las primeras etapas de la infección. Actualmente, no existen estrategias eficaces para prevenir la infección por WSSV. Esto se debe a que el sistema inmunológico del camarón depende de una inmunidad innata, la cual carece de memoria inmunológica. A pesar de esto, se ha observado que existen mecanismos de defensa relevantes, como las vías de señalización Toll y IMD, que regulan la expresión de genes implicados en la respuesta inmune en *P. vannamei*. Además, diversos autores reportan la presencia de una “inmunidad inducida”, donde organismos previamente expuestos al virus presentan una mayor supervivencia ante infecciones posteriores. Los camarones reaccionan a las proteínas virales del virus, por eso, la hidrólisis del tejido infectado puede generar péptidos virales que activan la respuesta inmune de estos. En este estudio se evaluó la hidrólisis de músculo de camarones infectados con WSSV, se utilizó agua y ácido fórmico como catalizador y como control, se emplearon camarones no infectados, generando los tratamientos HS-WSSV y HS-noWSSV(control). El hidrolizado se analizó tanto en su fase líquida como en su forma liofilizada, considerando parámetros como el pH, proteína soluble total y los perfiles proteicos mediante SDS-PAGE. Para evaluar la respuesta inmune, se realizó un bioensayo en acuarios con agua marina (35 g/L-1), temperatura ambiente (28 ± 2 °C) y aireación constante. Para la fase líquida se seleccionaron sobrenadantes de distintos tiempos de hidrólisis (3d, 10d y 20d), los cuales se inyectaron en organismos de *P. vannamei*. Posteriormente, se recolectaron muestras de hemolinfa a las 3, 6 y 12 horas post-inyección para analizar la expresión de genes de respuesta inmune. Para el liofilizado se administró oralmente y se tomaron muestra a las 3, 6, 12 y 24 h. Los resultados mostraron que la fase líquida del hidrolizado fue capaz de inducir una respuesta inmunológica específica frente al WSSV. Se evaluaron genes como Dorsal, Relish, proteína activadora de la fagocitosis (PAP), proteína de unión tipo RAS (Rab6) y profenoloxidasas (proPO), observándose la mayor expresión a las 3 horas post-inyección. En los ensayos de desafío por inyección y per-os, el tratamiento HS-WSSV 10 d presentó las menores tasas de mortalidad (60 y 40%) y un retraso en la progresión de la enfermedad. Asimismo, el hidrolizado liofilizado administrado por vía oral también mostró sobreexpresión, promoviendo una respuesta inmune y mayor resistencia frente al virus.

Palabras clave: Virus, WSSV, Hidrolizado, Camarón.

CYTOTOXIC EFFECTS OF LACTARIUS INDIGO EXTRACTS ON TRIPLE-NEGATIVE BREAST CANCER CELLS

Noor Yaseen^{1*}, Tania Raymundo Ojeda¹, Michelle Martínez Pineda²

¹Escuela Nacional de ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Mexico

*Corresponding author : yaseenn209@gmail.com

Summary.- *Lactarius Indigo* are Basidiomycetous mushrooms belonging to the order Russulaceae. The aim of this study is to explore the metabolites of Mushrooms and their anti-breast cancer activity using UV_Spectrophotometry, and Liquid Chromatography-Electrospray Ionization Tandem Mass Spectrometry (LC/ESI-MS/MS), and their assessment with MTT assay. Three type of mushroom extracts were prepared using different solvents, Hot water, methanol, and chloroform using ratio (1:10, w/v). The UV-Vis spectrum of *Lactarius Indigo* extract primarily contains UV-absorbing compounds, such as phenolic acids, flavonoids, or other bioactive metabolites. These results can correlate with its biological activities, such as antioxidant or anticancer properties, which are often mediated by such compounds. Methanolic extracts exhibited significant cytotoxic activity against MDA-MB-231 breast cancer cells, reducing cell viability by approximately 50%, while showing comparatively lower toxicity toward normal MCF-12F cells (~20% reduction). These findings indicate selective anticancer potential and support further investigation of mushroom-derived bioactive compounds for therapeutic applications.

Keywords: *Lactarius indigo*, Anti-cancer, LC-MS/MS, cytotoxicity, Triple Negative Breast cancer.

Introduction

Lactarius indigo, the indigo milk cap, are edible basidiomycetes that are widely distributed extending from America to East Asia (Ochoa-Zarzosa et al. 2011). While in Mexico these species are very important due to notable socio-economic which is commercialized in local markets and by various Spanish called it indigo, hongo azul (blue mushroom) and the combined Spanish-Nahuatl names tecax azul (blue tecax) These genera have some members are saprophytic regarded as edible or medicinal particularly in Asia (Özdemir and Bozok 2020); (Pacheco-Hernández et al. 2025).

Materials and methods

Mushroom Collection and Identification

Lactarius indigo, were collected from Acaxochitlán, Hidalgo (October 2025). Samples were cleaned, air-dried, and identified by morphological at IPN-ENCB Mycology Lab (Dr. Tania's lab) in Mexico.

Extraction Procedure

Dried samples were powdered with the help of Rotar and extracted (1:10, w/v) using methanol (CH₃OH), chloroform (CHCl₃), and Distilled water (H₂O). Aqueous extraction was

DISMINUCIÓN DE LA REPLICACIÓN VIRAL EN *Penaeus vannamei* MEDIANTE LA PROTEÍNA WSSV IE1 TRUNCA

Oscar Jesús Aispuro-Castro^{1*}, Carlos Ligne Calderón-Vázquez¹, Héctor Abelardo González-Ocampo¹

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional. Bulevar Juan de Dios Bátiz Paredes #250, Col. San Joachin, Guasave, Sinaloa, México.

*oaispuroc2100@alumno.ipn.mx

Resumen.

El Virus del Síndrome de la Mancha Blanca (WSSV) es el agente causal de una enfermedad detectada por primera vez en Asia en 1992 y en México en 1999. Este patógeno se propaga mediante aves marinas, crustáceos y artrópodos acuáticos, alcanzando una mortalidad del 100% en un periodo de 3 a 10 días si no se interviene. Durante la infección, la proteína viral Immediate Early 1 (IE1) es clave para la replicación y la posterior represión del sistema inmune del huésped, inhibiendo la expresión de genes de respuesta inmune durante las primeras 24 horas post-infección. Esto impide que el camarón se defienda adecuadamente, favoreciendo el incremento de la carga viral. Estudios sobre la proteína IE1 trunca del virus de la poliedrosis nuclear de *Bombyx mori* (BmNPV) en el gusano de seda han demostrado que la variante trunca IE1TN posee propiedades inhibitorias que bloquean funciones críticas de la proteína IE1 nativa. Por otro lado, el uso de *Bacillus* spp. como probiótico ha destacado en la modulación de la microbiota intestinal de *P. vannamei* y en la mejora de la supervivencia frente a WSSV mediante la secreción de enzimas inmunoestimulantes. El objetivo principal de este estudio es generar una cepa de *Bacillus* sp. que exprese una versión trunca de la proteína WSSV IE1 para disminuir la replicación de WSSV en juveniles de *P. vannamei*. Como primer paso, se realizó un escrutinio de cepas candidatas evaluando la degradación de almidón y caseína (rutas de secreción), tinción de Gram, hemólisis y resistencia a antibióticos. Se aislaron 36 cepas del intestino de camarón, de las cuales dos resultaron Gram positivas con hemólisis gamma, secreción de α -amilasa (1.61 ± 0.289 y 1.76 ± 0.21) y proteinasas extracelulares (1.22 ± 0.01 y 2 ± 0.17), además de una alta tolerancia salina (0.5, 3 y 7%). Finalmente, se diseñó una versión trunca de WSSV IE1 con un tamaño de 143 aminoácidos (dominio C-terminal), la cual será insertada en el vector pET-28(a)+ y clonada en *E. coli* DH5 α para su posterior expresión en *E. coli* BL21 (DE3), evaluando así su secreción, integridad y estabilidad frente a variables fisicoquímicas del cultivo.

Palabras clave: WSSV, IE1, *Penaeus vannamei*

PREBIÓTICOS Y PROBIÓTICOS COMO ESTRATEGIA PARA PROMOVER LA SALUD EN LA TILAPIA DEL NILO

Pablo Alejandro Rendón-Delcid¹, Ruth Escamilla-Montes², Antonio Luna-González^{1*}

¹CIIDIR, Unidad Sinaloa, IPN, Bulevar Juan de Dios Bátiz Paredes #250, Col. San Joachin, en Guasave, Sinaloa, México, ²CIBNOR SC, Unidad Guaymas, carretera a las Tinajas SN, 85454 Heroica Guaymas, Sonora,

*aluna@ipn.mx

Resumen.- La acuicultura enfrenta problemas causados por microorganismos patógenos, como especies del género *Vibrio*, *Streptococcus*, *Aeromonas* y *Lactococcus*. Para el control de las enfermedades, se han propuesto alternativas amigables con el ambiente como la suplementación con probióticos y prebióticos. El uso de probióticos del género *Lactobacillus*, así como la administración en el alimento de inulina (*Agave tequilana*) y plátano verde (*Musa paradisiaca*) ha demostrado mejoras en el sistema inmune, microbiota intestinal y resistencia a infecciones en la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Bacterias benéficas del género *Lactobacillus* se han identificado en el kéfir, considerándolo un alimento con alto potencial biotecnológico. Por ello, el objetivo del presente estudio es determinar el efecto de la suplementación con probióticos del género *Lactobacillus*, inulina (*Agave tequilana*) y plátano verde (*Musa paradisiaca*), adicionados en el alimento, en el crecimiento, supervivencia, respuesta inmune y microbiota intestinal de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) retada con *L. garvieae*. Se aislarán y caracterizarán a nivel bioquímico y molecular bacterias con potencial probiótico del género *Lactobacillus* procedentes de kéfir. De las cepas con las mejores características probióticas, se microencapsularán por el método de secado por aspersión (Yamato®, Japón) y se añadirán al alimento en distintas concentraciones (10×10^9 UFC/L; 10×10^{10} UFC/L; y 10×10^{11} UFC/L), así como en combinación con inulina (1.0 g/kg, 1.5 g/kg y 2.0 g/kg) y plátano verde (1.0 g/kg, 2.0 g/kg y 3.0 g/kg) en distintas frecuencias de administración (suplementación diaria y distintos tratamientos con días de suplementación y reposo). Se realizarán cuatro bioensayos con una duración de 48 días para determinar la mejor concentración, cantidad y frecuencia de los componentes en el crecimiento, sistema inmune, microbiota intestinal y supervivencia. Se realizarán experimentos con 13 peces ($1.0 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$) por tina por triplicado monitoreando parámetros físico-químicos. Se tomarán muestras del riñón cefálico para evaluar expresión de genes del sistema inmune mediante PCR cuantitativo (tiempo real) y se realizará un análisis transcriptómico (Illumina®). Se determinará la expresión relativa del ARNm utilizando el método $2^{-\Delta\Delta Ct}$. Se obtendrán los intestinos de 4 peces por tratamiento y se depositarán en tubos Eppendorf de 1.5 mL con alcohol al 96 °C. El ADN bacteriano se extraerá y se secuenciará en el CIAD, Mazatlán (Illumina® Miniseq 2 150 pair-end) obteniendo la biblioteca de secuencias a partir de la región variable (V3) del gen 16S rRNA. Se empleará la plataforma Shaman para la construcción de las OTUs y la base de datos Silva para la anotación de las secuencias. Se realizarán análisis de diversidad alfa (Shannon) y beta (NMDS) para examinar la variación en las similitudes de la comunidad microbiana entre los diferentes tratamientos, en la plataforma Microbiome Analyst. Se evaluará la normalidad de los datos (Kolmogorov-Smirnov) y se determinarán diferencias entre tratamientos para supervivencia y expresión génica (ANDEVA) ($p < 0.05$) (Statística 7, StatSoft®).

Palabras clave: Probióticos, peces, expresión génica, metagenómica, resistencia a enfermedades.

AISLAMIENTO Y SELECCIÓN DE UN CONSORCIO MICROBIANO CON POTENCIAL PARA LA BIOTRANSFORMACIÓN DE MICROPARTÍCULAS DE PET

Raquel Rodríguez Gutiérrez^{1*}, Diana Verónica Cortés Espinosa², Virgilio Bocanegra García².

¹Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional. Ex-Hacienda San Juan Molino. Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, C.P. 90700, Tlaxcala, México, ²Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional. Blvd del Maestro SN, Narciso Mendoza, C.P. 88710 Reynosa, Tamps. México.

[*rrodriguezg2000@alumno.ipn.mx](mailto:rrodriguezg2000@alumno.ipn.mx)

Resumen.- La contaminación plástica, en particular, la proveniente del tereftalato de polietileno (PET), representa un importante desafío ambiental debido a su resistencia a la degradación. Este estudio tuvo como objetivo aislar y seleccionar microorganismos con potencial para la biotransformación del PET. Se recolectaron muestras de agua y sedimento de un efluente industrial en San Mateo Ayecac, Tlaxcala, México. Los aislamientos microbianos se obtuvieron empleando medios de cultivo selectivos y se sometieron a un screening de múltiples pasos, que incluyó: 1. Ensayos de colonización en superficies de PET, en los cuales, se detectó crecimiento preferencial en zonas adyacentes a las partículas de PET, posiblemente como estrategia adaptativa para incrementar la adaptabilidad o facilitar su acceso a compuestos liberados por la hidrólisis inicial del polímero; 2. Análisis de producción de biomasa bajo diversas condiciones de glucosa y PET, lo cual permitió establecer diferencias importantes en la capacidad de los microorganismos analizados para crecer en condiciones de disponibilidad limitada de carbono y 3. Evaluaciones cualitativas y cuantitativas de actividad enzimática. La detección de actividad esterásica en un conjunto diverso de microorganismos provenientes de un entorno contaminado representa un paso preliminar clave para la selección de cepas capaces de contribuir a la biodegradación de PET. Posteriormente, se realizaron pruebas antagónicas para identificar interacciones positivas entre los aislamientos más prometedores. En los resultados destacaron cuatro aislamientos bacterianos y dos fúngicos, con los cuales se conformaron tres consorcios, uno bacteriano, uno fúngico y uno mixto, los cuales se confrontaron a una cepa independiente en una cinética de evaluación de desempeño en diferentes medios de cultivo, donde destacó el consorcio bacteriano y mixto, los cuales produjeron cambios químicos en la estructura del PET observados mediante FTIR. La identificación molecular reveló la presencia de varios géneros, incluyendo *Brucella*, *Pseudomonas*, *Serratia* y *Aspergillus*. Estos hallazgos indican que los consorcios microbianos poseen características prometedoras para la degradación del PET, en comparación con cepas independientes. Investigaciones futuras explorarán los mecanismos de comunicación intercelular para optimizar los mecanismos de biodegradación sinérgica.

Palabras clave: microplásticos, consorcio microbiano, biodegradación, tereftalato de polietileno.

ANTICANCER ACTIVITIES OF SOYBEAN PEPTIDES ON COLORECTAL CANCER CELLS BY AFFECTING THE CANCER PROMOTER GENES

Rohullah^{1*}, Rosalva Mora Escobedo¹, Vanessa García Rojas¹

¹Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional (IPN)
Wilfrido Massieu 399, Nueva Industrial Vallejo, Gustavo A. Madero, 07700 Mexico City,
Mexico

*Corresponding author: roh.kmu@gmail.com

Summary

Colorectal cancer is one of the major causes of cancer related deaths in all countries and safer and more discriminating therapeutic methods need to be developed. Peptides in soybean have received attention because they may have anticancer effects. The effects of NNDDRDS and IKSQSES were determined on Caco-2 cells at the following concentrations 1, 10, and 100 μ M using the MTT assay. Cisplatin was used as a positive control. One-way ANOVA and Dunnett post hoc test were used to perform statistical analysis. Selectivity was evaluated using HaCaT cells as a control. Cisplatin exhibited high dose-effect cytotoxicity with high cell viability decreases. NNDDRDS was very active at 100 μ M with IKSQSES performing moderately at the same concentration. No toxicity was observed with the two peptides in HaCaT cells. The results indicate that the soybean peptides have selective anticancer effects and can potentially be used as alternatives or complements to colorectal cancer therapy.

Keywords Soybean peptides; colorectal cancer; *Caco-2* cells; cytotoxicity; MTT assay

Introduction

Cancer is defined by unregulated growth of cells and their resistance to the apoptotic process (Cancer) (Hanahan and Weinberg, 2011). Colorectal cancer (CRC) (Colorectal cancer) is a significant issue in the world in terms of morbidity and mortality because it is very common and causes the greatest number of deaths. Cisplatin and other conventional chemotherapeutic agents are commonly used but their clinical use is frequently constrained by serious side effects against normal cells (Dasari and Tchounwou, 2014).

Bioactive peptides are natural peptides which have been used in recent years because of their various biological effects, such as antioxidant, antihypertensive and anticancer effects (Udenigwe and Aluko, 2012). In particular, peptides of soybean have been shown to affect the important cellular activities of growth, death and gene expression (Kim et al., 2000; Malaguti et al., 2014). These characteristics indicate that they might be used to target cancer-promoting pathways more selectively.

In spite of these encouraging properties, the haplontic cytotoxicity of certain peptides of the soybean against colorectal cancer cells is not fully investigated. Thus, the purpose of this research was to assess the anticancer effect of NNDDRDS and IKSQSES peptides on Caco-2 cells and to compare their effects with those of cisplatin and to determine their safety in normal HaCaT cells.

DIVERSIDAD, ESTRUCTURA GENÉTICA Y VARIACIÓN ESTACIONAL DE ABEJAS NATIVAS EN UN PASTIZAL CONSERVADO DE DURANGO

Rosa Isela Delgado Espinoza^{1*}, Yolanda Herrera Arrieta¹, Miguel Mauricio Correa Ramirez¹, Jesús Guadalupe González Gallegos¹, Dulce Rodríguez Morales²

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Durango, Sigma 119, Fracc. 20 de Noviembre II, Durango 34220, Durango, México, ²Universidad Veracruzana, Instituto de Neuroetología. Av. Dr. Luis Castelazo Industrial de las Ánimas, Rubí ánimas, Xalapa de Enríquez, Veracruz, CP. 91190, México

*izcela97@gmail.com

Resumen.- La polinización biótica es realizada por los seres vivos, siendo las abejas los polinizadores más reconocidos. Nuestro país alberga el 10% de las abejas conocidas a nivel mundial con más de 2,000 especies registradas. A pesar de esto, la especie más estudiada es la abeja europea (*Apis mellifera*) y las abejas nativas permanecen poco estudiadas en aspectos como su distribución, ecología y delimitación. Generalmente, la identificación de especies se ha realizado mediante el enfoque morfológico. Sin embargo, en algunos casos esto podría resultar insuficiente, sobre todo cuando se trata de especies morfológicamente similares. En este sentido, el uso de herramientas moleculares puede ser un complemento, ya que permiten detectar variación genética entre especies morfológicamente similares por lo que la integración de ambos enfoques puede ser una estrategia clave para la delimitación de especies con mayor precisión. El presente estudio tiene como objetivo analizar la diversidad y la estructura genética de las abejas nativas en un pastizal conservado, considerando la temporada de lluvias y de estiaje. El área de estudio se localiza dentro del ejido Tuitán, en Nombre de Dios, Durango. La captura de abejas se realizará usando redes entomológicas a lo largo de transectos de 100 m, durante los periodos de mayor actividad de los insectos. Los ejemplares capturados serán conservados en alcohol al 90% y serán procesados en laboratorio. Se medirá su cabeza, tórax, abdomen y patas, además se realizará la disección de su genitalia. Posteriormente, se extraerá ADN genómico total y amplificarán fragmentos tanto mitocondrial (COI) como nuclear (ITS 1 y ITS 2) mediante la técnica PCR, los productos de PCR serán enviados a secuenciación. Las secuencias obtenidas serán analizadas mediante softwares para estimar la diversidad genética y las relaciones entre individuos. Se calcularán parámetros como diversidad haplotípica y nucleotídica, y se construirán redes de haplotipos y árboles filogenéticos. Se evaluará la diversidad alfa mediante índices como riqueza de especies, Shannon y Simpson, así mismo se calculará la equidad de Pielou. Para detectar diferencias significativas entre las temporadas de estudio se realizarán pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas y posteriormente se aplicará la prueba estadística *U* de Mann-Whitney o *t* de student según corresponda. Los resultados esperados de esta investigación contemplan la generación de una lista de especies presentes en el pastizal, delimitadas mediante un enfoque morfológico y genético, además de identificar posibles cambios en la diversidad abundancia y composición de sus comunidades en las temporadas de estiaje y lluvias. Este estudio generará conocimiento sobre la biodiversidad de abejas nativas y aportará bases para su conservación en los pastizales de Durango.

Palabras clave: abejas nativas, diversidad, genética, morfología, pastizal

DINÁMICA ESTRUCTURAL Y ACUMULATIVA DE CARBOHIDRATOS DE *Agave durangensis* Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES FUNCIONALES

Shaïla Nayeli Pérez Salinas^{1*}, Yolanda Herrera Arrieta¹, Liliana Wallander Campeán¹, Marlón Rojas López², Marcela Verónica Gutiérrez Velázquez¹, Maricela Esteban Méndez¹

¹CIIDIR-IPN Unidad Durango, Sigma 119, 20 de Noviembre II, 34220 Durango, Dgo.,

²CIBA-IPN, Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Manzana Tepetitla Km 1.5, 90700 Santa Inés Tecuexcomac, Tlax.

*Correo del autor principal: snperez@ipn.mx, yherrera@ipn.mx

Resumen

Los fructanos, en las plantas de agave representan los principales carbohidratos de reserva en condiciones de sequía extrema, están formados por polímeros de fructosa con una molécula de glucosa terminal. El *Agave durangensis* es utilizado ampliamente en la producción de mezcal, y ha demostrado ser una fuente importante de fructanos (agavinas). Se procesaron 200 g de corazón de *Agave durangensis* de 2, 8 y 15 años. La extracción de fructanos se realizó mediante el método de ultrasonificación, con el cual se evaluaron los carbohidratos totales. Las diferencias estructurales fueron evaluadas mediante espectroscopia infrarroja (FTIR). Las actividades antioxidantes se evaluaron con las técnicas espectrofotométricas de radical libre DPPH y ABTS. Las bandas identificadas mediante FTIR revelaron una relación entre la intensidad de las señales asociadas a los fructanos. En plantas de 8 años, se encontraron las concentraciones más altas. El ensayo ABTS, el cual tuvo mayor sensibilidad en plantas de 8 años la actividad antioxidante en fructanos de agave fue escasa con el método DPPH. Se puede concluir que la mayor actividad observada en la etapa intermedia de desarrollo del agave podría estar con alteraciones en la estructura de los fructanos, incluyendo variaciones su grado de polimerización y ramificación.

Palabras clave: Fructanos, *Agave durangensis*, grado de polimerización, prebióticos, carbohidratos

Introducción

El género *Agave* se considera originario de México, donde se encuentran 272 de las 310 especies reportadas, con 135 especies endémicas (García-Villalba et al., 2023). Crecen en climas semiáridos y templados, son componente clave de los ecosistemas locales, contribuyendo a la biodiversidad de pastizales, matorrales xerofíticos y bosques caducifolios (García-Villalba et al., 2023). En el estado de Durango, el *Agave durangensis* se encuentra ampliamente distribuido, el cual es una fuente importante de fructanos (Delgado-Alvarado et al., 2019). Los compuestos de los agaves que sirven para elaborar mezcal son conocidos como fructanos que se componen principalmente de fructosa (97.11%) y glucosa (2.89%). Son mezclas principalmente del tipo neo-fructano, con enlaces β (2-1) y β (2-6) (García-Villalba et al., 2023). Los fructanos de esta especie tienen propiedades prebióticas, ayudando a la absorción de minerales y a regular la glucosa en sangre (Velázquez-Martínez et al., 2014). El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios estructurales y de acumulación de carbohidratos (fructanos) de *Agave durangensis* de diferentes edades, y por último se determinaron las bioactividades antioxidantes de los carbohidratos.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EMPLEANDO BIOINDICADORES Y SENSORES EN LA CIUDAD DE DURANGO, MÉXICO

Sofía Lizeth De Casas Reyes^{1*}, Isaías Chairez Hernández¹, Miguel Ángel Soto Cárdenas¹

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Unidad Durango, Sigma 119, 20 de Noviembre II, C.P. 34220.

*sdecasasr2300@alumno.ipn.mx

Resumen.- La contaminación atmosférica en zonas urbanas y periurbanas representa un desafío creciente para la salud de la población y el ambiente. En la ciudad de Durango, México, la limitada infraestructura de monitoreo dificulta obtener diagnósticos precisos, ya que las estaciones tradicionales se centran únicamente en contaminantes criterio (PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂, SO₂ y O₃). Sin embargo, el aire también transporta bioaerosoles que pueden incluir bacterias de importancia sanitaria y patógenos potenciales, por lo que su medición complementa la información físico-química y permite evaluar riesgos invisibles para los sistemas convencionales. En este trabajo se propone un enfoque integral para evaluar la calidad del aire que combina sensores de bajo costo con el análisis de bioaerosoles y bioindicadores biológicos, como las hormigas (*Pogonomyrmex rugosus*) y las hojas de trueno (*Ligustrum lucidum*), seleccionados por su capacidad para captar partículas en zonas con distinto grado de urbanización. La inclusión de estos bioindicadores permite explorar la diversidad bacteriana externa asociada a superficies vivas, mientras que los bioaerosoles reflejan directamente la carga microbiana suspendida en el aire. La metodología consistió en realizar muestreos de aire (bioaerosoles) mediante una bomba de vacío calibrada a 5 L/min, que succionó aire a través de filtros de membrana de 47 mm y poro de 0.45 µm, colocados a 1.5-2 m de altura; cada muestreo tuvo una duración de 50 minutos. Al mismo tiempo se recolectaron hormigas y hojas en los mismos sitios estratégicos (zona urbana, periurbana y control) y también se cuantificaron contaminantes criterio mediante una estación Arduino equipada con sensores electroquímicos y ópticos, cuyos datos se almacenaron y transmitieron en tiempo real a la nube. La biomasa bacteriana atrapada en los filtros, en la cutícula de las hormigas y en la superficie de las hojas se recuperó mediante lavado en solución salina estéril, agitación en vórtex y centrifugación, obteniendo pellets celulares que posteriormente fueron estabilizados y preparados para la extracción de ADN, la amplificación de la región V3-V4 del gen 16S rRNA y la secuenciación masiva en la plataforma Illumina MiSeq, lo que permitió la posterior identificación taxonómica y el estudio de la diversidad microbiana mediante herramientas bioinformáticas. Los resultados presentados hasta el momento corresponden únicamente al muestreo de bioaerosoles, donde se identificó una notable diversidad taxonómica con predominancia de géneros como *Bacillus* y *Paenibacillus*, así como la presencia de bacterias de relevancia sanitaria y patógenos potenciales como *Escherichia coli*, *Shigella flexneri* y *Salmonella enterica*. En conclusión, aunque los contaminantes criterio no excedieron los límites normativos, el análisis de bioaerosoles permitió identificar una alta diversidad bacteriana, que incluye patógenos de importancia sanitaria. Esto confirma que los bioaerosoles constituyen indicadores relevantes de la calidad del aire y que la combinación de sensores de bajo costo con análisis microbiológico es una estrategia eficaz para el monitoreo ambiental integral en Durango.

Palabras clave: bioaerosoles, contaminantes criterio, sensores, diversidad bacteriana.

CONSORCIO DE *Bacillus* spp. EN MAÍZ: EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y MULTI-ÓMICA

Susana Echaury-Peña^{1*}, Ignacio Eduardo Maldonado-Mendoza¹, Claudia Patricia Larralde-Corona²

¹CIIDIR-IPN, Unidad Sinaloa, Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes 250, Col. San Joaquín, Guasave, Sinaloa 81101, México, ²Centro de Biotecnología Genómica, Boulevard del Maestro S/N esquina Elías Piña. Col. Narciso Mendoza. C.P. 88700 Reynosa, Tamaulipas, México.

*sechaurip@gmail.com

Resumen. - El maíz en México tiene un valor estratégico debido a su aporte nutricional, cultural y a su relevancia en la soberanía alimentaria del país. Sin embargo, su producción enfrenta diversas problemáticas, destacando el uso intensivo de agroquímicos y la presencia de enfermedades. *Fusarium verticillioides* (Fv) provoca pudrición de raíz, tallo y mazorca. Además, Fv tiene la capacidad de producir micotoxinas (fumonisinas), cuya presencia en grano es un riesgo para la salud humana y animal. El empleo de microorganismos benéficos como las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) ofrece una alternativa para mejorar la producción vegetal y reducir enfermedades causadas por hongos patógenos. Las bacterias del género *Bacillus* destacan por su capacidad de formar asociaciones benéficas con maíz. Nuestro grupo de trabajo ha caracterizado dos cepas del género *Bacillus* como PGPR y agentes de biocontrol de Fv: *Bacillus cereus* sensu lato (B25) y *Bacillus megaterium* (B5). Adicionalmente, B5 tiene la capacidad de solubilizar fósforo. Por lo anterior, el empleo de ambas cepas en consorcio podría potenciar sus efectos mediante la complementariedad de sus funciones biológicas. El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto del consorcio bacteriano (B5/B25) en maíces híbridos y criollos, así como realizar una caracterización multi-ómica en una variedad híbrida mediante la integración de transcriptómica y metabolómica. La efectividad del consorcio en variedades híbridas comerciales (“Hipópotamo de Asgrow” y “4050 de Dekalb”) y variedades criollas (“Carrasco” y “San Juan Olote Colorado”) se evaluará bajo condiciones controladas. La actividad como PGPR y antagonista a Fv será verificada mediante ensayos en sistemas de papel enrollado, y se analizarán variables de crecimiento, así como incidencia y severidad de la enfermedad. Posteriormente, se evaluará su efecto en maceta bajo condiciones de invernadero. Se realizará un análisis transcriptómico por RNA-seq para comparar la expresión génica en raíces de plantas de maíz inoculadas con el consorcio vs plantas control sin inocular. Además, se realizará un análisis no dirigido mediante Cromatografía de Líquidos de Ultra Alta Resolución acoplada a Espectrometría de Masas para identificar metabolitos diferencialmente acumulados en respuesta a la inoculación con el consorcio bacteriano. Este enfoque multi-ómico permitirá comprender los mecanismos implicados en la interacción maíz-consorcio *Bacillus* (B5/B25), generando información clave y proporcionando las bases para el desarrollo de herramientas biotecnológicas dirigidas al manejo sostenible de cultivos.

Palabras clave: Maíz, *Bacillus*, consorcio microbiano, *Fusarium verticillioides*, multi-ómica.

EVALUACIÓN DE MICROELEMENTOS PARA OBTENER UNA ALTA DENSIDAD CELULAR Y ACUMULACIÓN DE PHB EN *Bacillus thuringiensis*

Yazmin Melendez Xicohtencatl¹, Jorge Noel Gracida Rodríguez², Víctor Eric López y López^{1*}

¹Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala, ²Universidad Autónoma de Querétaro, Universidad 231, Cerro de las Campanas S/N, Las Campanas, 76010 Santiago de Querétaro, Querétaro.

*vlopezyl@ipn.mx

Resumen. – La sobreproducción de plásticos plantea una constante exposición a nano y microplásticos. Estas partículas tienen la capacidad de transportar contaminantes químicos tóxicos, representando un riesgo para la salud y medio ambiente. Actualmente se han explorado opciones que sean biodegradables y no tóxicas, entre las que se encuentran los bioplásticos a partir de almidón, uso de ácido poliláctico y el polihidroxibutirato, siendo este último el material que tiene propiedades similares al poliestireno y polipropileno. No obstante, la producción de PHB todavía supone un desafío a causa del elevado costo en materias primas y cepas con rendimientos bajos. *Bacillus thuringiensis*, logra sintetizar PHB en tiempos cortos de fermentación, por lo que su empleo representa una oportunidad para incrementar la acumulación del polímero. En este proyecto se busca determinar las condiciones limitantes de nitrógeno y magnesio, principales cofactores en el metabolismo de PHB, con lo que se pueda favorecer la acumulación del polímero. A fin de optimizar ambos parámetros, se establecerá un diseño experimental con diferentes concentraciones de magnesio y relaciones C:N. Posteriormente se analizará otra fuente de nitrógeno tomando en cuenta los valores óptimos. Con los datos obtenidos, se plantea la realización de cultivos por lote y lote alimentado, que permita evaluar la cepa wild-type y transformada de *Bacillus thuringiensis*, comparando la expresión de *phaA* y *acetyl-CoA* en diferentes etapas de crecimiento con condiciones óptimas del medio de cultivo. Finalmente, al polímero obtenido se determinarán sus características mecánicas y se realizarán análisis FTIR. *Bacillus thuringiensis*, puede procesar diferentes concentraciones de sustrato, no obstante concentraciones altas influyen en su crecimiento y síntesis de toxinas. A la par relaciones C:N presentan mayor glucosa residual, por lo que la relación C:N de 23 es uno de los valores más altos que se puede llegar a usar y se puede utilizar de referencia para conocer las condiciones que redirijan su metabolismo a la producción principalmente de PHB.

Palabras clave: Polímero, limitación nutricional, polihidroxialcanoatos.

CARACTERIZACIÓN GENÓMICA Y MOLECULAR DE CÉLULAS TRONCALES MESENQUIMALES DE MÉDULA ÓSEA DE RATAS ESPONTÁNEAMENTE HIPERTENSAS

Yolanda Rios Medina ^{1*}, Doris Atenea Cerecedo Mercado¹, Ivette Martínez Vieyra¹,

¹Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Av. Guillermo Massieu Helguera 239, La Purísima Ticoman, Gustavo A. Madero, 07320 Ciudad de México, CDMX.

*yriosm1800@alumno.ipn.mx

Resumen. - La hipertensión arterial (HTA) es una enfermedad crónica que afecta a más de 1,400 millones de adultos en el mundo y subyace a la patogénesis de múltiples enfermedades cardiovasculares. Las ratas espontáneamente hipertensas (SHR) constituye el modelo animal más utilizado para el estudio de la hipertensión esencial. Estudios previos han evidenciado un incremento en la proporción de megacariocitos y de sus células progenitoras en ratas SHR de cinco semanas de edad. Sin embargo, aunque se conoce que las células troncales mesenquimales (MSC) regulan a las células troncales hematopoyéticas (HSC) las cuales a su vez participan en la regulación de la megacariopoyesis aún se desconoce las posibles alteraciones que experimentan las MSC en médula ósea de este modelo. En este contexto, el presente trabajo propone analizar el perfil transcriptómico de MSC aisladas de médula ósea de SHR y compararlo con ratas normotensas (WKY) mediante RNA-seq. Con ello, se pretende identificar genes diferencialmente expresados y vías de señalización diferencialmente expresadas, que aporten información sobre los mecanismos moleculares involucrados en homeostasis de HSC y la fisiopatología de la hipertensión.

Palabras clave: Hipertensión, transcriptoma, expresión diferencial

Introducción:

La hipertensión arterial (HTA) es una enfermedad crónica que se caracteriza por el incremento sostenido de la presión arterial (PA) (140/90 mmHg o superior). Se estima que 1,400 millones de adultos de entre 30 y 79 años tienen hipertensión (2024); de los cuales se estima que al menos el 40% de estos individuos desconocen que la padecen (Organización Mundial de la Salud, 2025). La hipertensión es un factor de riesgo importante que subyace a la patogénesis de múltiples enfermedades cardiovasculares (accidente cerebrovascular, cardiopatía isquémica, insuficiencia cardíaca y cardiopatía hipertensiva) (Lewington et al., 2002) y está estrechamente asociado con la disregulación inflamatoria y la activación inmunitaria (Guzik, 2024) además de que se ha identificado como el principal factor de riesgo de mortalidad en adultos (Berenguer & Pérez, 2016).

Actualmente las ratas espontáneamente hipertensas (SHR) han sido el modelo animal más utilizado para el estudio de la hipertensión (Louis et al., 1990), esto se debe que este modelo presenta múltiples similitudes con la hipertensión esencial humana, entre estas, se incluye una predisposición genética a la PA alta sin etiología específica, un aumento de la resistencia periférica total sin expansión de volumen y respuestas similares al tratamiento farmacológico (Frohlich, 1988). Es conocido que las SHR presentan variaciones celulares durante la fase de prehipertensión en médula ósea y pulmón (Rojo et al., 2025), una de estas variaciones en médula ósea de SHR de 5 semanas de edad es el incremento del 25% en la densidad de megacariocitos y la pérdida de circularidad en comparación a lo reportado en ratas normotensas.

Las células troncales mesenquimales (MSC) son células progenitoras pluripotentes que poseen potencial de diferenciación multilínea y autorrenovación. En médula ósea las MSC regulan la homeostasis de las HSC las cuales a su vez participan en la regulación de la megacariopoyesis.

SELECCIÓN DE AISLADOS FÚNGICOS Y EVALUACIÓN DE SU CAPACIDAD DEGRADADORA DE TERMOPLÁSTICOS DE ALTO IMPACTO AMBIENTAL

Yvonne Ramírez-Cáceres^{1*}, Ninfa M. Rosas-García¹, Cipriano García-Gutierrez²

¹Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Reynosa, Tamp., México., ²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional. Unidad Sinaloa, Guasave, Sinaloa, México.

*yramirezc2102@alumno.ipn.mx; nrosas@ipn.mx

Resumen.- La alta demanda de polímeros sintéticos como el polietileno de baja densidad (LDPE), el polipropileno (PP) y el policloruro de vinilo (PVC) —ampliamente utilizados en productos de consumo cotidiano— contribuye a la contaminación por plásticos, la cual representa una de las problemáticas ambientales más grandes a nivel mundial. Por esto, diversas estrategias han sido propuestas con anterioridad, entre ellas, los hongos han despertado un gran interés gracias a su capacidad de producir enzimas extracelulares capaces de modificar moléculas complejas, lo que los posiciona como candidatos potenciales para el desarrollo de estrategias biotecnológicas orientadas al manejo de residuos. El presente trabajo tiene como objetivo obtener aislados fúngicos de residuos plásticos recuperados de ambientes contaminados para evaluar su capacidad degradadora de LDPE, PP y PVC. Para ello, se recolectaron fragmentos de plásticos de suelos contaminados, los cuales se procesaron mediante diluciones seriadas, y siembra por difusión en placas de agar Sabouraud dextrosa (SDA) con extracto de levadura al 1%. La purificación de los aislados se realizó mediante subcultivos. Los aislados obtenidos se someterán a una evaluación preliminar utilizando un medio de sales minerales suplementado con polvo de polímero (LDPE, PP y PVC) comercial, como única fuente de carbono. El crecimiento fúngico se evaluará por densidad óptica y aquellos que presenten mayor incremento —en comparación con los controles— serán seleccionados para evaluaciones posteriores. Los aislados seleccionados serán analizados mediante microrrespirometría para cuantificar la producción de CO₂ asociada al metabolismo del polímero, como indicador de su mineralización. A la par, se realizará la caracterización morfológica de los aislados, la evaluación de su perfil enzimático y su identificación molecular. La capacidad degradadora de los aislados que presenten la mayor producción de CO₂ se medirá mediante espectroscopía de infrarrojo (FT-IR) para determinar cambios en los grupos funcionales, porcentaje de degradación (peso), cromatografía de gases-espectrofotometría de masas (GC-MS) para detectar productos de degradación, y observación de la superficie degradada al microscopio electrónico de barrido (SEM). Los resultados, hasta el momento, arrojaron 54 aislados fúngicos diferentes provenientes de nueve muestras de residuos plásticos obtenidos de cuatro puntos distintos ubicados a lo largo de la carretera Reynosa-Monterrey y en cinco puntos distintos ubicados en Rancho Misión San Juan Cadereyta, N. L. México. Se espera que este trabajo permita obtener aislados fúngicos con capacidad de degradar termoplásticos, contribuyendo al conocimiento sobre la diversidad microbiana y al desarrollo de estrategias biotecnológicas para el manejo de los residuos.

Palabras clave: Hongos; ecología microbiana; biorremediación; gestión de residuos sólidos; sostenibilidad;

XXXI
JORNADAS ACADÉMICAS
DEL DOCTORADO
EN CIENCIAS EN
BIOTECNOLOGÍA



