



**FRONTERA  
BIOTECNOLÓGICA**

# LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

## Biotecnología Genómica

Esta línea de investigación se enfoca en el estudio del potencial biotecnológico del genoma de virus, bacterias, hongos y plantas mediante el uso de tecnologías "Omicas" y biotecnología moderna (ingeniería genética, CRISPR-Cas), para impactar en la resolución de problemáticas de interés global como la mitigación de los efectos del cambio climático, la contaminación ambiental y la salud.

## Biotecnología Ambiental

Tiene como objeto el desarrollo, uso y regulación de sistemas biológicos para la remediación de ambientes contaminados (del suelo, aire y agua) y para procesos amigables con el medioambiente (tecnologías verdes y desarrollo sustentable).

Algunos proyectos se enfocan en:

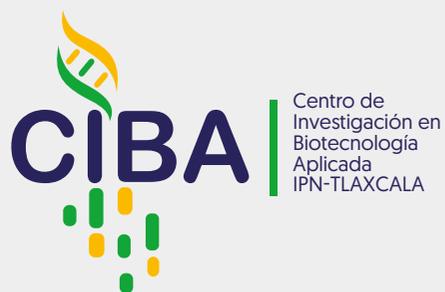
- a) Aprovechamiento de residuos agroindustriales y pecuarios.
- b) Aplicación de microorganismos y sistemas enzimáticos para remoción de contaminantes.
- c) Producción de energías renovables.

## Productos Naturales

Se enfoca en el aprovechamiento de metabolitos de origen natural, que sirvan como punto de partida para el desarrollo de alternativas terapéuticas.

Algunos de los proyectos son:

- a) Evaluación de efecto citotóxico para el desarrollo de antitumorales.
- b) Evaluación de efecto antihiper glucémico in vivo.
- c) Identificación de inhibidores enzimáticos [ $\alpha$ -glucosidasa, aldosa reductasa, lipasa].



## Nanobiotecnología

Comprende el uso y aplicación de elementos nanoestructurados, orgánicos e inorgánicos, para el desarrollo de:

- a) Biosensores y marcadores biológicos.
- b) Nano-encapsulados de uso alimentario.
- c) Nanotrasportadores de fármacos y otras aplicaciones.

## Biotechnología Agroalimentaria

Realiza investigación de frontera para contribuir en las demandas de cadena alimentaria en forma integral.

Algunos de los proyectos están enfocados a:

- a) Incrementar rendimientos y valor nutricional de producción agrícola.
- b) Prolongar la vida útil de los alimentos.
- c) Aislar o concentrar principios bioactivos.
- d) Desarrollar nuevos productos.

## Bioprocesos

Tiene la misión de establecer el desarrollo y establecimiento de los procesos de producción optimizando las etapas.

Algunos proyectos son:

- a) Producción de enzimas, colorantes, compuestos bioactivos.
- b) Biocatálisis.
- c) Transformación de biomasa vegetal en biocombustibles.
- d) Producción de biológicos para aplicación en salud humana y animal.
- e) Tecnología de biopreservación.



# Directorio Institucional



**Arturo Reyes Sandoval**  
Director General

**Mauricio Igor Jasso Zaranda**  
Secretario General

**Ismael Jaidar Monter**  
Secretario Académico

**Ana Lilia Coria Páez**  
Secretaria de Investigación y Posgrado

**Yessica Gasca Castillo**  
Secretaria de Innovación e Integración Social

**Marco Antonio Sosa Palacios**  
Secretario de Servicios Educativos

**Javier Tapia Santoyo**  
Secretario 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

**Ismael Sánchez González**  
Unidad de Tecnología Educativa y  
Campus Virtual

**Jaime Rivera Contreras**  
Diseño y Diagramación Frontera Biotecnológica

**Wendy Flores Trejo**  
Fotografía y Diagramación

**Gonzalo Pérez Araiza**  
Soporte Técnico

**Lilia Espindola Rivera**  
Coordinadora Administrativa

**ipn.mx**

[revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx](http://revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx)

[rfronterab@ipn.mx](mailto:rfronterab@ipn.mx)

FRONTERA BIOTECNOLÓGICA, año 12, número 29, septiembre - diciembre 2024, 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: Dr. Víctor Eric López y 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. Dr. Víctor Eric López y López., Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, fecha de última modificación, 19 de noviembre de 2024.

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

---

## 6

MENSAJE EDITORIAL

## 8

RECONSTRUYENDO HERIDAS CON PEQUEÑOS AYUDANTES DE LA NATURALEZA: LAS NANOESTRUCTURAS Y LOS EXTRACTOS VEGETALES COMO VENDAJES REVOLUCIONARIOS

## 18

ISOFLAVONAS PRENILADAS Y SU RELACIÓN CON ENFERMEDADES DEGENERATIVAS

## 26

MICROORGANISMOS QUE PRODUCEN LOS SABORES Y OLORES DEL MEZCAL DE PAPALOME [Agave potatorum Zucc.] DE SAN PEDRO, TEOZACOALCO, OAXACA.

---

## 34

LA SEGUNDA VIDA DEL AGAVE: NUEVAS APLICACIONES PARA RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE LAS INDUSTRIAS DEL TEQUILA Y MEZCAL

## 44

¿FLORES PARA EL DESAYUNO?

## 48

PIGMENTOS AMARILLOS A PARTIR DE FLORES COMO ALTERNATIVA FRENTE A COLORANTES SINTÉTICOS

## 56

ROJO BIKAVERINA: EL PIGMENTO NATURAL CON POTENCIAL PARA LA INDUSTRIA

---

## 74

PHB ¿PLASTI-VILLANO O NUEVO HÉROE?

## 84

RELATORIA CONCURSO DE FOTOGRAFÍA: 2024

## 88

Memorias de la XXVIII Jornadas Académicas del Doctorado en Ciencias en Biotecnología-IPN

# Mensaje Editorial



## Septiembre 2024

Queridos lectores, este último cuatrimestre nos hemos llenado de entusiasmo con las celebraciones que abarcan desde nuestra Independencia, Día de Muertos, la Revolución y culminamos con la alegría de la Navidad y Año nuevo. Este número 29, lo dedicamos a todas aquellas personas que, con su trabajo enriquecen nuestra revista y contribuyen a que la divulgación científica en Biotecnología llegue a la comunidad en general, convirtiéndose en una herramienta contra la desigualdad y la desinformación, que son los verdaderos cánceres de nuestra sociedad mexicana en la actualidad. En el área de medicina, conoceremos sobre vendajes nanoestructurados con extractos vegetales los cuales nos ayudan a reconstruir heridas; continuamos en saber que los compuestos conocidos como isoflavonas son candidatos prometedores para desarrollar medicamentos como alternativa para el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas. Adicionalmente, leeremos sobre aquellos microorganismos que le dan sabor y olor al mezcal; y en otra contribución en como se le

puede dar una segunda vida al agave de las industrias del tequila y el mezcal. ¿Tienen hambre? Pues podemos elaborar harinas a partir de ciertas flores con valor nutricional que no solo aportan sabor, sino que además pueden ser una fuente de oxidantes; además exploraremos sobre pigmentos aplicados en alimentos que pueden ser obtenidos a partir de flores u obtenidos por medio de fermentación como la bikaverina que además cuenta con propiedades antibacterianas y anticancerígenas, compuestos que les ganan la batalla a los colorantes sintéticos. Hablando de compuestos sintéticos, escudriñaremos si los bioplásticos como el polihidroxibutirato obtenido por fermentación microbiana son los nuevos héroes en sustitución de los plásticos derivados del petróleo, los verdaderos villanos que hacen tanto daño a nuestro amado planeta.

En otro orden de ideas, nos fascinaremos con cinco fotografías científicas de integrantes de la comunidad del CIBA-IPN que participaron en el concurso con motivo de la fiesta del 20 ani-

versario de nuestro centro de investigación y que son ejemplos de aquellas imágenes que son esenciales en tareas de la divulgación científica. Finalmente, conoceremos los avances de nuestros futuros 53 investigadores que presentaron su resumen en las XXVIII Jornadas Académicas del Doctorado en Ciencias en Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional realizadas en octubre del presente en Cancún Quintana Roo.

Como mencionamos al inicio de la nota, cada vez es más el número de solicitudes y contribuciones en nuestra revista Frontera Biotecnológica. Agradecemos de gran manera a los autores y revisores por su tiempo y dedicación que han invertido en este proceso. ¡Como Politécnicos de corazón de nueva cuenta gracias! Todo esto nos permite poner siempre, siempre...  
“La Técnica al Servicio de la Patria”

**Dr. Víctor Eric López y López**

Editor en Jefe

# RECONSTRUYENDO HERIDAS CON PEQUEÑOS AYUDANTES DE LA NATURALEZA: LAS NANOESTRUCTURAS Y LOS EXTRACTOS VEGETALES COMO VENDAJES REVOLUCIONARIOS

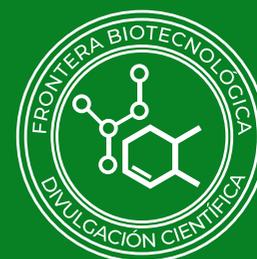
Britania Janet Gutiérrez Rafael<sup>1</sup>, Elizabeth Vargas Anaya<sup>1</sup>, Jonathan Hillel De La Cruz San Juan<sup>1</sup>, Omar Montes Narváez<sup>2</sup>, Marcos García Juárez<sup>3</sup>, Orlando Zaca Morán<sup>1</sup> y Valentín López Gayou<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac- Tepetitla, km 1.5, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, C.P. 90700, México.

<sup>2</sup> Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, 90000, México.

<sup>3</sup> Centro de Investigación en Reproducción Animal, Universidad Autónoma de Tlaxcala-CINVESTAV, Plaza Hidalgo S/N. San Nicolás Panotla, C.P. 90140, Tlaxcala, México.

\*Autor de correspondencia: [valgayou@hotmail.com](mailto:valgayou@hotmail.com)



## RESUMEN

La curación de heridas es un proceso complejo que puede verse comprometido por infecciones o un suministro sanguíneo inadecuado. Los apósitos tradicionales, aunque económicos, no promueven activamente la cicatrización y no ofrecen protección frente a la entrada de patógenos. Lo anterior genera la necesidad de tener apósitos que mantengan la humedad, que permitan el intercambio de gases, que promuevan la regeneración celular y prevengan infecciones para evitar las complicaciones de una herida crónica. Los productos naturales y metabolitos secundarios de plantas medicinales se han utilizado a lo largo de la historia para el tratamiento de heridas gracias a sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes y cicatrizantes. La nanotecnología y la ingeniería de tejidos desarrollan estrategias para incorporar estos beneficios en una matriz polimérica que emule las condiciones de una matriz extracelular mediante técnicas como el electrohilado, que es una técnica común para producir nanofibras. El Laboratorio de Nanobiotecnología y Biosensores del CIBA-IPN Tlaxcala está desarrollando apósitos electrohilados que incorporan extractos de plantas medicinales, mostrando efectos favorables en modelos murinos. La combinación de nanotecnología y productos naturales es muy prometedora para mejorar el proceso de curación de heridas y la calidad de vida de los pacientes.

**Palabras clave:** Nanotecnología, productos naturales, cicatrización, electrohilado

## ABSTRACT

Wound healing is a complex process that it can be compromised by infections or insufficient blood supply. Traditional dressings, while economical, do not actively promote healing and may allow bacterial entry. This requires dressings that maintain moisture, allow gas exchange, promote cell regeneration, and prevent infections to avoid the chronic wound complications. Natural products and secondary metabolites from medicinal plants have been used throughout history to treat wounds due to their antimicrobial, antioxidant, and healing properties. Nanotechnology and tissue engineering are developing strategies to incorporate these benefits into a polymeric matrix that emulates the conditions of an extracellular matrix using techniques such as electrospinning, a common technique for producing nanofibers. The Laboratory of Nanobiotecnology and Biosensors at CIBA-IPN Tlaxcala is developing electrospun dressings incorporating medicinal plant extracts, showing favorable effects in murine models. The combination of nanotechnology and natural products holds great promise for improving wound healing and patient quality of life.

## Introducción

Una herida es una ruptura en la continuidad de la piel que puede ser causada por traumatismos como quemaduras, cortes, raspones, exposición a temperaturas extremas, daño químico y daño por radiación; todas estas son lesiones en la piel que activan un proceso natural de curación en nuestro cuerpo llamado cicatrización.

En las heridas provocadas por corte, este proceso se divide en 4 fases que se sobreponen en el tiempo: la hemostasia, inflamación, proliferación y remodelación. Dentro de los primeros 15 minutos se activa la hemostasia, en la que se detiene el sangrado mediante la contracción de los vasos sanguíneos y la

formación de coágulos. Esta etapa es muy breve y suele considerarse como parte de la siguiente fase: la inflamación, en la cual las células inmunes llegan al sitio de la herida para limpiar los restos de tejido dañado y prevenir infecciones. Después sigue la fase de proliferación, en la que se regeneran los tejidos mediante la acción de células especializadas que producen colágeno tipo III y promueven la formación de nuevos vasos sanguíneos y tejido, al final de esta etapa la herida queda recubierta de una fina capa de nueva piel. Por último, ocurre la fase de remodelación, donde la herida termina de sanar y se recupera la estructura normal de la piel [Han, 2023] [Figura 1].

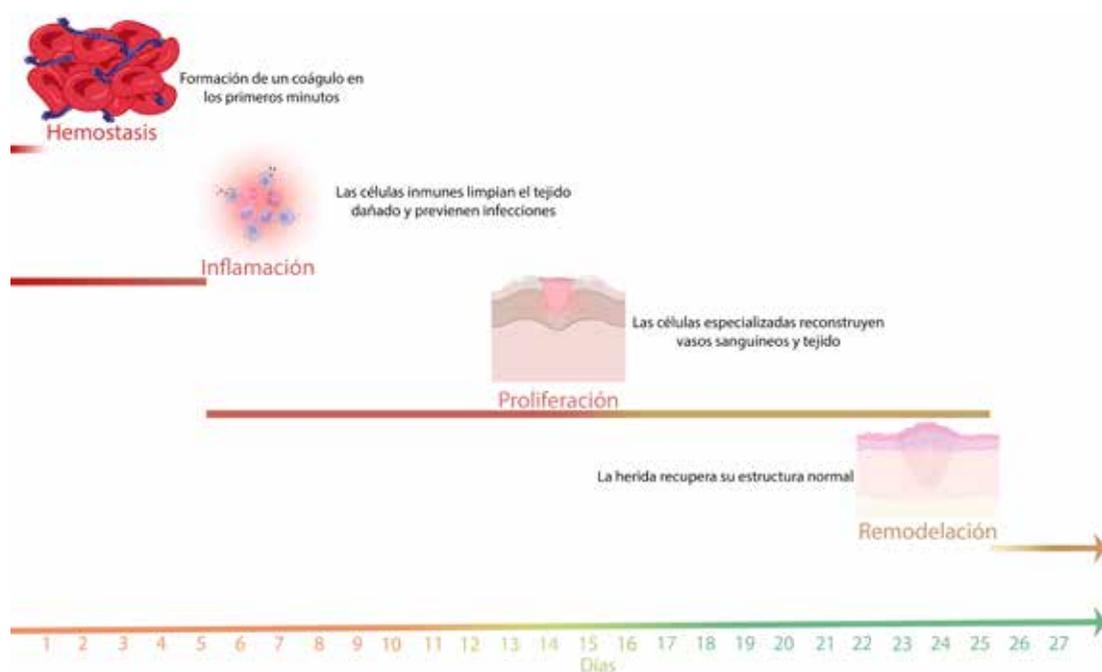


Figura 1. Etapas de la cicatrización

Normalmente, este proceso toma unas 4 semanas en completarse; sin embargo, si el proceso se complica y la herida se infecta o no recibe un adecuado suministro sanguíneo con nutrientes, el proceso se estanca y la herida se vuelve crónica; siendo los pacientes diabéticos, con problemas circulatorios o un sistema inmune debilitado los que tienen un mayor riesgo de desarrollar complicaciones. Las heridas crónicas son muy difíciles de tratar y representan un gran reto para los sistemas de salud a nivel mundial [Ongarora, 2022].

Para facilitar la curación de las heridas y prevenir complicaciones, se utilizan los apósitos, que son coberturas que se aplican directamente sobre la lesión. Los apósitos más comunes son las gasas y vendas de algodón, pero, aunque son económicos, en realidad no promueven activamente la cicatrización; al contrario, se pueden adherir a la herida y al removerlos se daña el tejido nuevo. Además, no evitan eficazmente la entrada de bacterias, especialmente en ambientes hospitalarios donde hay gérmenes resistentes a antibióticos [Mani, 2023].

Por eso, en los últimos años se han desarrollado apósitos avanzados (material de curación) con tecnología que imita las condiciones naturales de curación de la piel. Estos mantienen un ambiente húmedo en la herida, absorben el exceso de exudado, permiten el intercambio gaseoso, promueven la regeneración celular y forman una barrera contra infecciones. Algunos incluso liberan sustancias que aceleran la cicatrización. Aunque pueden ser más costosos, reducen el tiempo de curación y las complicaciones [Shi et al., 2020].

Ante el creciente problema de resistencia bacteriana y la necesidad de alternativas eficaces a las gasas tradicionales, los apósitos de nueva generación representan una prometedora solución para el tratamiento de heridas, además de ayudar a que mejore la calidad de vida de millones de pacientes en todo el mundo.

## 2

### La farmacia de la naturaleza: productos naturales para la curación de heridas

Los productos naturales, así como los metabolitos secundarios extraídos de plantas medicinales han sido utilizados a lo largo de la historia en todo el mundo para el tratamiento de heridas. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que casi el 80% de la población mundial recurre a la medicina tradicional como tratamiento de enfermedades, de las cuales el 85% utiliza remedios a base de plantas. Los compuestos naturales derivados de extractos de plantas pueden proporcionar una solución para mejorar el proceso de cicatrización de heridas al reducir la formación de cicatrices. El empleo de compuestos naturales para el tratamiento de heridas es un área prometedora debido a sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes y cicatrizantes que estimulan la coagulación sanguínea, combaten infecciones y aceleran la curación de heridas [Piriz et al., 2014].

Los productos naturales pueden participar en las cuatro etapas del proceso de cicatrización, teniendo como principales mecanismos de acción su actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana [Criollo-Mendoza et al., 2023; Ibrahim et al., 2018].

- Actividad antioxidante: Las especies reactivas de oxígeno [ROS por sus siglas en inglés] son moléculas con una alta reactividad que se producen

de manera natural en nuestro cuerpo como resultado de diversos procesos metabólicos, como la respiración celular. En cantidades moderadas son necesarias para la señalización celular y la defensa contra infecciones; sin embargo, un exceso puede contribuir al daño celular, lo que a su vez puede retrasar la respuesta normal de cicatrización. Los antioxidantes, como los polifenoles, pueden donar sus electrones a las ROS, ayudando a neutralizarlas y a mantener el equilibrio adecuado para promover una cicatrización óptima. Así, los productos naturales ricos en antioxidantes mantienen niveles no tóxicos de ROS en los tejidos de la herida, contribuyendo a mejorar el proceso de cicatrización.

- Actividad antiinflamatoria: Aunque la fase inflamatoria es esencial en la cicatrización, su exceso y prolongación puede estimular la fibrosis, que es la producción excesiva de tejido fibroso (principalmente colágeno), lo que genera cicatrices elevadas, gruesas y con una apariencia anormal, tendiendo a ser permanentes y con posibles problemas funcionales y estéticos. Todo esto además de prolongar el dolor, hinchazón y enrojecimiento que puede incomodar al paciente y afectar su calidad de vida. Diversos compuestos naturales han demostrado reducir la acumulación

de leucocitos y mediadores pro-inflamatorios, lo que ayuda a regular la respuesta inflamatoria y permitir una cicatrización óptima evitando complicaciones.

- **Actividad antimicrobiana:** Las infecciones de heridas pueden ir desde menores y superficiales hasta potencialmente mortales. Cuando el sistema inmune no puede eliminar al patógeno, la infección resultante deteriora el tejido de granulación recién formado, así como los factores de crecimiento y los componentes de la matriz extracelular asociados, interrumpiendo el proceso normal de cicatrización. Diversos extractos de plantas ricos en compuestos como polifenoles, flavonoides, taninos, terpenos y alcaloides han mostrado inhibir el crecimiento y la supervivencia de microorganismos, ya sea por interactuar con la membrana celular bacteria y alterar sus funciones, interferir con la síntesis de proteínas u otras enzimas clave en el metabolismo bacteriano o bien, por inhibir la formación de biopelículas, comunidades bacterianas que se adhieren a las superficies y son difíciles de erradicar al estar protegidas por su propio micro ambiente.

Con la finalidad de aprovechar el potencial terapéutico de los productos naturales, se han realizado diversos estudios para evaluar el potencial de diversos productos naturales como fuente de compuestos con propiedades cicatrizantes. Algunos productos naturales con amplias investigaciones son [Davis y Pérez, 2009; Medellín et al. 2019; Salazar y Alonso, 2022]:

- **Aloe vera:** Diversas preparaciones de *Aloe vera* se han utilizado desde la antigüedad para aliviar dolencias, especialmente de la piel. Estudios han demostrado que las pencas de aloe poseen propiedades antiinflamatorias y antibacterianas gracias a su alta composición en antraquinonas y polisacáridos. Las antraquinonas, como la aloína,

emodina y el ácido crisofánico, son compuestos que pueden interferir en la replicación del ADN [Ácido desoxirribonucleico] bacteriano y alterar la permeabilidad de la membrana celular, brindando protección a la herida frente a agentes patógenos; por otro lado, los polisacáridos como el acemanano puede estimular la respuesta inmune del huésped, promoviendo la actividad de células especializadas.

- **Miel:** La miel ha sido utilizada para tratar heridas y quemaduras durante siglos. Además de su actividad antibacteriana de amplio espectro, derivada de su alto contenido de enzima glucosa oxidasa, metilgloxal, además de una alta osmolaridad por su alto contenido en azúcares y un bajo pH, la miel puede ser beneficiosa para una herida en cicatrización al retener una cantidad adecuada de humedad, estimular la formación de nuevos vasos sanguíneos, ayudar en la formación de tejido de granulación y reepitelización, y tener propiedades antiinflamatorias.
- **Cacao:** La aplicación tópica de cacao se ha asociado con diversos beneficios, incluyendo aliviar quemaduras, desinfectar heridas en la piel y actuar como humectante. Estudios preliminares sugieren que su contenido en polifenoles inhibe la formación de biopelículas y altera la permeabilidad de la membrana bacteriana, disminuyendo las probabilidades de infección. Además, los polifenoles del cacao poseen efectos antioxidantes, lo que influye sinérgicamente en la cicatrización.

Si bien los productos naturales y los metabolitos secundarios obtenidos de diferentes fuentes vegetales se han utilizado durante siglos en todo el mundo para tratar heridas, es necesario diseñar formulaciones con dosis óptimas y una vía de administración adecuada para aprovechar al máximo sus propiedades.

## 3

## Polímeros nanoestructurados para una curación óptima

Si bien existen en el mercado apósitos que brindan protección y que promueven el proceso de cicatrización, las complicaciones debidas al riesgo de infección en la herida comprometen el estado de recuperación de la misma, lo cuál se agrava en las heridas crónicas. Actualmente, la nanotecnología y la ingeniería de tejidos buscan desarrollar estrategias conjuntas para abordar la complejidad del proceso normal de cicatrización de heridas, promoviendo el cierre en un menor periodo de tiempo y que además brinden protección frente a organismos patógenos [Abrigo et al. 2014].

La nanoterapia propone el uso de materiales diseñados con al menos una dimensión dentro de la nanoescala [1-100 nm], teniendo como ventaja sobre sus contrapartes, la versatilidad y capacidad de ajuste de sus propiedades fisicoquímicas; además, de la alta relación superficie-volumen que les confiere características únicas.

Hay dos categorías principales de nanomateriales utilizados en la cicatrización de heridas: Los nanomateriales que ya cuentan con propiedades intrínsecas como antibacterianas, de cicatrización o antioxidan-

tes por nombrar algunas y los nanomateriales inocuos o biocompatibles, a los que hay que agregarles elementos que les confieran estas propiedades. Por poner algunos ejemplos tenemos las nanopartículas de oro que son un elemento biocompatible y, que al ser biosintetizadas y conjugarse con extractos de plantas medicinales pueden funcionar como vehículos de entrega de agentes terapéuticos, lo cual aumenta su biodisponibilidad; es decir, le facilita a los compuestos medicinales cumplir su función terapéutica en su sitio de acción, lo que se traduce en una reducción en el tiempo de cierre de la herida. Dentro de la misma categoría también encontramos las nanopartículas poliméricas que proveen protección a los fármacos contra la degradación y permiten una liberación controlada, las nanofibras que imitan la estructura de la matriz extracelular y los nanohidrogeles que crean un ambiente húmedo beneficioso y pueden encapsular diversos fármacos. Por otra parte tenemos materiales que exhiben propiedades intrínsecas beneficiosas, como las nanopartículas de plata u óxido de zinc que poseen propiedades antimicrobianas, evitando que la herida se infecte y; por tanto, facilitando el cierre de la herida.



El electrohilado (electrospinning) es la técnica más utilizada para producir nanofibras, consiste en aplicar un alto voltaje entre una aguja inyectora y un colector, generando un flujo de polímero que se estira y adelgaza hasta formar fibras de diámetros nano o micrométricos. Por tanto, los componentes principales son una fuente de alto voltaje, un inyector o difusor unido a una jeringa que contiene el polímero a hilar y un colector (Figura 2).

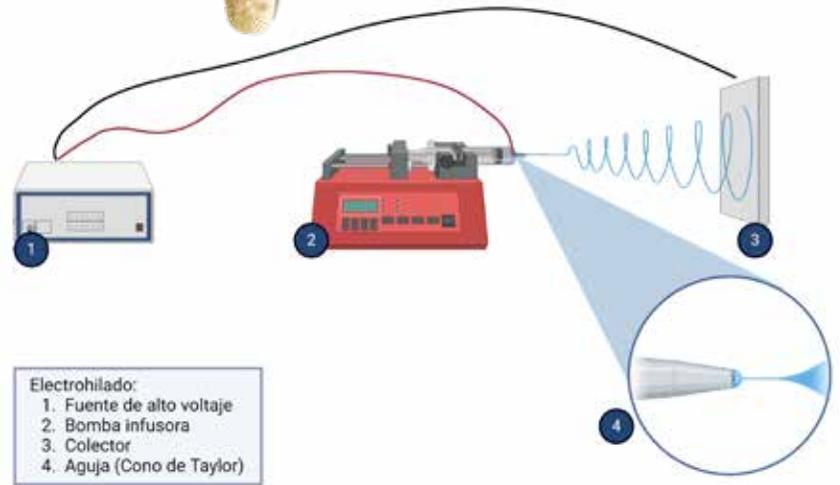


Figura 2. Equipo de electrohilado

Un primer paso en la elaboración de nanofibras es seleccionar el material base para el desarrollo del apósito, el cual suele ser un polímero (Nguyen et al. 2023). Se requiere que posea propiedades intrínsecas adecuadas así como las que pueda adoptar con los elementos (extractos de plantas, biomoléculas o fármacos) que se busquen incorporar. Se han implementado tanto polímeros naturales biocompatibles como polímeros sintéticos que brindan propiedades mecánicas versátiles a las estructuras (Figura 3) (Terzopoulou et al. 2022).

Cada polímero posee propiedades especiales que los vuelve aptos para su aplicación, sin embargo, también existen limitaciones por su naturaleza y en algunos casos se requiere de un mayor número de etapas en la fabricación de apósitos, así como el uso de reactivos tóxicos.

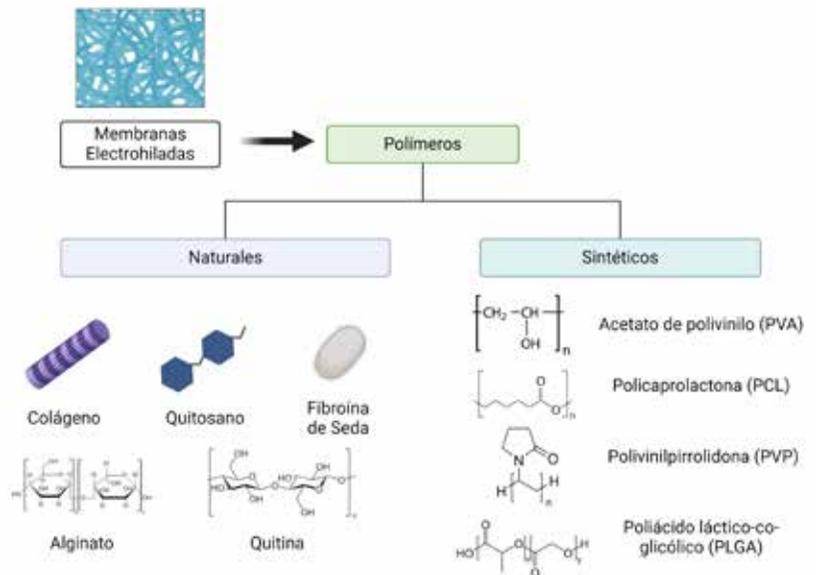


Figura 3. Polímeros aplicados al tratamiento de heridas

El tipo de nanoconstrucción que se forme con el polímero es crucial, ya que su arquitectura y las dimensiones en las que se diseñe permitirán el intercambio gaseoso, mantendrá la humedad y mejorará la interacción del polímero conjugado con los componentes bioactivos, proporcionando mayor contacto y adhesión hacia los elementos intra y extracelulares de la herida [Figura 4] [Mouro y Gouveia, 2023].

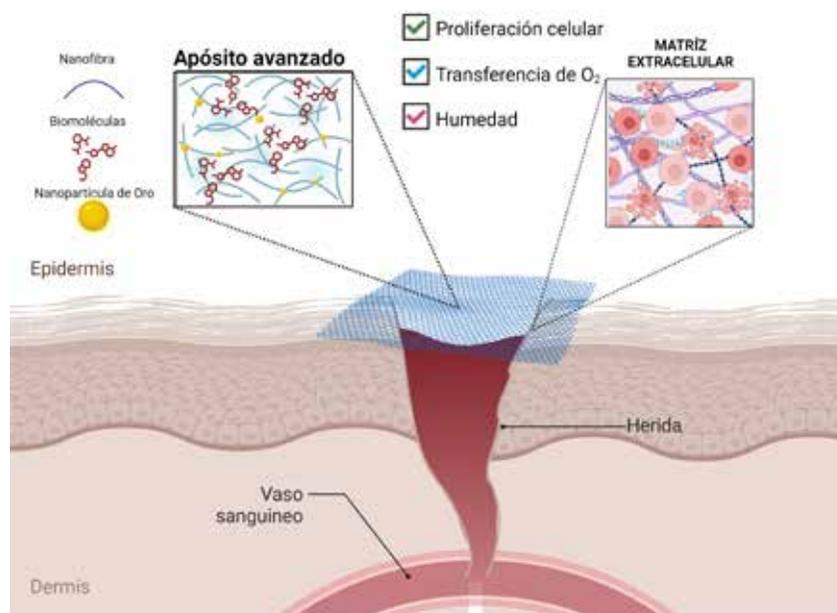


Figura 4. Interacciones de nanomateriales bioconjugados y la herida

## 4

### Nanotecnología y productos naturales: una combinación ganadora para el tratamiento de heridas

Con la finalidad de conjuntar el potencial terapéutico de los productos naturales con las ventajas que ofrecen los materiales nanoestructurados, distintos grupos de investigación han realizado estudios para determinar las condiciones ideales para incorporar los extractos en matrices poliméricas, evaluando los parámetros operacionales y de preparación del polímero con el extracto vegetal, así como su actividad cicatrizante en modelo murino (modelo experimental animal) y la actividad antibacteriana contra bacterias patógenas [Adamu et al. 2021]. Entre estos estudios se ha observado biocompatibilidad y citocompatibilidad, aumentó la proliferación celular en fibroblastos y promovió la adhesión celular a nanofibras de poli [ε-caprolactona] (PCL), goma arábiga (GA) y *Caléndula officinalis* [Pedram et al. 2018]. Por otra parte, la obtención de nanofibras electrohiladas de

ácido quitosano-etilendiaminatetraacético/alcohol polivinílico [CS-EDTA/PVA] con extracto de *Garcinia mangostana* al 3% peso y evaluadas en modelo murino, mostró por histología H&E que las nanofibras tuvieron un efecto positivo, ya que al día 11 se observó en la herida una completa reepitelización, además de sustituirse los tejidos de granulación por folículos pilosos, en comparación a los controles y a la herida tratada con gasa y un vendaje comercial [Charernsriwilaiwat et al. 2013]. La actividad antibacteriana se ha evaluado con nanofibras estables fabricadas a base de ácido hialurónico y curcumina contra bacterias patógenas multirresistentes del grupo *ESKAPE* con formas por *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Enterobacter* spp, presentando concentraciones inhibitorias mini-

mas (MIC) valores de aproximadamente 90  $\mu\text{g/ml}$  (mediana de 90  $\mu\text{g/m}$  para las bacterias Grampositivas, mientras que las de las bacterias Gramnegativas oscilaron entre 90 y 360  $\mu\text{g/ml}$  (mediana de 360  $\mu\text{g/ml}$ ) [Snetkov et al. 2022].

Una de las áreas de investigación del laboratorio 2 de Nanobiotecnología y Biosensores del CIBA - IPN Tlaxcala, es el desarrollo de apósitos electrohilados. Partiendo del procesamiento y caracterización de la composición química de extractos vegetales, se evalúa la actividad biológica de plantas medicinales para la detección de candidatas con actividad antioxidante, actividad reductora de nanomateriales y actividad antimicrobiana frente a cepas resistentes a antibióticos, específicamente aquellas del grupo ES-KAPE. Integrando el conocimiento generado, se ensayan las condiciones óptimas de electrohilado para la incorporación de extractos de *Aloe vera*, árnica, nopal, epazote, entre otras plantas, a nanoestructuras poliméricas y su posterior evaluación y caracterización mediante técnicas espectroscópicas y microscopía electrónica. Finalmente, en colaboración con el Centro de Investigación en Reproducción Animal [CIRA Tlaxcala], se realiza la evaluación clínica de los apósitos generados en modelo murino, observando efectos favorables en un menor tiempo en comparación con el tratamiento control, lo cual es una promesa alentadora para futuras aplicaciones para mejorar la calidad de vida de los pacientes de la región.



## 5

## Conclusiones

La sinergia entre la nanotecnología y los productos naturales en el desarrollo de apósitos representa un enfoque innovador y prometedor para mejorar el tratamiento de heridas. Las nanofibras biofuncionalizadas que se obtienen de técnicas como el electrohilado son capaces de acelerar el proceso de cicatrización, además de prevenir infecciones y disminuir las complicaciones en el proceso de curación. Se espera que las futuras investigaciones permitan llevar estos avances a la práctica clínica, beneficiando a millones de pacientes.

# REFERENCIAS

Abrigo M, McArthur SL, Kingshott P [2014] Electrospun nanofibers as dressings for chronic wound care: advances, challenges, and future prospects. *Macromol biosci*, 14: 772–792.

Adamu B, Gao J, Jhatial AK, Kumelachew DM [2021] A review of medicinal plant-based bioactive electrospun nano fibrous wound dressings. *Mater Design*, 209: 109942.

Charernsriwilaiwat N, Rojanarata T, Ngawhirunpat T, Sukma M, Opanasopit P [2013] Electrospun chitosan-based nanofiber mats loaded with *Garcinia mangostana* extracts. *Int J Pharm*, 452: 333–343.

Criollo M S, Contreras LA, Leyva N, Gutiérrez EP, Jiménez LA, Heredia JB [2023] Wound Healing Properties of Natural Products: Mechanisms of Action. *Molecules*, 28.

Davis SC, Perez R [2009] Cosmeceuticals and natural products: wound healing. *Clin Dermatol*, 27: 502–506.

Han SK [2023] *Innovations and Advances in Wound Healing*. Springer. Singapur. 1-76 pp.

Ibrahim NI, Wong SK, Mohamed IN, Mohamed N, Chin KY, Ima S, Shuid AN [2018] Wound healing properties of selected natural products. *Int J Env Res Pub He*, 15.

Mani R [2023]. *Chronic Wound Management: The Significance of Evidence and Technology*. Springer Cham. Suiza. 117-193 pp.

Medellin MF, Castañeda JE, Martínez VY, Cervantes AR [2019] Medicinal Plant Extracts and Their Use As Wound Closure Inducing Agents. *J Med Food*, 22: 435–443.

Mouro C, Gouveia IC [2024] Electrospun wound dressings with antibacterial function: a critical review of plant extract and essential oil incorporation. *Crit Rev Biotechnol*, 44: 641–659.

Nguyen HM, Ngoc Le TT, Nguyen AT, Thien Le HN, Pham TT [2023] *Biomedical materials for wound*

*dressing: recent advances and applications*. *RSC Adv*, 13: 5509–5528.

Ongarora BG [2022] Recent technological advances in the management of chronic wounds: A literature review. *Health Sci Rep*, 5: 1–10.

Pedram Rad Z, Mokhtari J, Abbasi M [2018] Preparation and characterization of *Calendula officinalis*-loaded PCL/gum arabic nanocomposite scaffolds for wound healing applications. *Iran Polym J*, 28: 51-63.

Piriz MA, Lima CAB, Jardim VMR, Mesquita MK, Souza ADZ, Heck RM [2014] Medicinal plants in the wound healing process: A literature review. *Rev Bras Plant Med*, 16: 628–636.

Salazar A, Alonso AJ [2022] Medicinal Plants from Latin America with Wound Healing Activity: Ethnomedicine, Phytochemistry, Preclinical and Clinical Studies—A Review. *Pharmaceuticals*. 15.

Shi C, Wang C, Liu H, Li Q, Li R, Zhang Y, Wang J [2020] Selection of Appropriate Wound Dressing for Various Wounds. *Front Bioeng Biotechnol*, 8: 1–17.

Snetkov P, Rogacheva E, Kremleva A, Morozkina S, Uspenskaya M, Kraeva L [2022] Actividad antibacteriana *in vitro* de nanofibras cargadas de curcumina a base de ácido hialurónico contra patógenos ESKAPE resistentes a múltiples medicamentos. *Farmacia*, 14: 1186.

Terzopoulou Z, Zamboulis A, Koumentakou I, Michailidou G, Noordam MJ, Bikiaris DN [2022] Biocompatible synthetic polymers for tissue engineering purposes. *Biomacromolecules*, 23: 1841-1863.



## 6 Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo financiero a través del proyecto SIP-20240740 y SIP-20240719. Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por el apoyo de Ciencia de Frontera CF-2023-G-1080 y las Becas de Doctorado (958640 y 889063).



# Isoflavonas preniladas y su relación con enfermedades degenerativas

Patricia Ibarra-Torres<sup>1,2</sup>, Jazmín Ruíz-García<sup>1</sup>, Rubí Galindo-Ferrer<sup>3</sup>, Miguel Ángel Leán-Hernández<sup>1</sup>, Luis Mario Ayala-Guerrero<sup>1</sup>, Aarón Mendieta-Moctezuma<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla, Km 1.5, Tepetitla de Lardizábal, 90700, Tlaxcala, México

<sup>2</sup> Ingeniería en Biotecnología, Universidad Politécnica de Guanajuato, Av. Universidad Sur 1001, 38496 Cortazar, Guanajuato, México

<sup>3</sup> TecNM - Campus Altiplano de Tlaxcala. Km. 7.5 Carretera Federal San Martín Texmelucan-Tlaxcala. San Diego Xocooyucan, 90122, Tlaxcala, México

Correo electrónico: amendietam@ipn.mx



## RESUMEN

Las isoflavonas son conocidas como fitoestrógenos y presentan propiedades farmacológicas como cardioprotectores, antidiabéticos, anticancerígenos y neuroprotectores. En la búsqueda de potenciales agentes neuroprotectores, se evaluó una serie de isoflavonas preniladas derivadas de la isoflavona natural formononetina para determinar su actividad inhibitoria *in vitro* sobre la enzima acetilcolinesterasa. Los resultados muestran que las isoflavonas presentan moderada a débil actividad siendo la formononetina con mayor efecto inhibitorio ( $CI_{50} = 100 \mu M$ ) con respecto a tacrina ( $CI_{50} = 14.79 \mu M$ ). Esto sugiere que la presencia de un grupo hidroxilo en posición C-7 del núcleo de isoflavona favorece el efecto inhibitorio mientras que, la adición de un grupo prenilo lineal o ciclizado disminuye la actividad. Por tanto, formononetina es un buen candidato para el diseño de nuevos inhibidores de acetilcolinesterasa relacionados al tratamiento de enfermedades neurodegenerativas.

**Palabras clave:** isoflavonas preniladas, formononetina, acetilcolinesterasa, enfermedades degenerativas

## ABSTRACT

Isoflavones are known phytoestrogens and have pharmacological properties such as cardioprotective, antidiabetic, anticancer, and neuroprotective. In the research for potential neuroprotective agents, a series of prenylated isoflavones derived from the natural isoflavone formononetin were evaluated for their *in vitro* inhibitory activity against the enzyme acetylcholinesterase. The results displayed that isoflavones showed moderate to weak activity where formononetin had the greatest inhibitory effect ( $CI_{50} = 100 \mu M$ ) concerning tacrine ( $CI_{50} = 14.79 \mu M$ ). This suggests that the presence of a hydroxyl group at C-7 position of the isoflavone core favors the inhibitory effect, while the addition of a linear or cyclized prenyl group decreases the activity. Therefore, formononetin is a good candidate for designing new acetylcholinesterase inhibitors related to treating neurodegenerative diseases.

**Keywords:** prenylated isoflavones, formononetin, acetylcholinesterase, Degenerative diseases

## Introducción

Las enfermedades degenerativas (ED) afectan la función, estructura de los tejidos u órganos en progresión lenta y de larga duración, como es el caso de la osteoartritis, osteoporosis y la enfermedad de Alzheimer [Dos Santos et al., 2018]. Esta última, causa deterioro de las funciones cognitivas, con tratamientos costosos y mortales para las personas que la padecen. La disfunción y muerte neuronal en la enfermedad de Alzheimer (EA) está asociada a placas de  $\beta$  amiloide ( $\beta$ A) y marañas neurofibrilares (MNF), formadas por agregados del péptido  $\beta$ A ( $P\beta$ A) y la proteína tau. Estas estructuras se encuentran en regiones específicas del cerebro asociadas a funciones cognitivas como hipocampo y corteza entorrinal [López-Camacho et al., 2017].

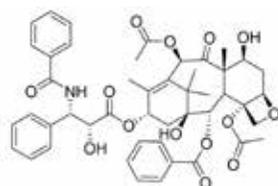
es una enzima responsable de la terminación de la transmisión de señales en el sistema colinérgico y su sustrato, la acetilcolina (ACh) es un neurotransmisor de este sistema, su efecto es predominante sobre las neuronas motoras implicadas en la formación de la memoria. Inhibir la actividad de AChE permite tratar diversos trastornos de las neuronas motoras relacionadas con la enfermedad de Alzheimer. Sin embargo, estos inhibidores de la AChE [tacrina, galantamina, donepezilo, rivastigmina] presentan limitaciones en términos de eficacia, rango terapéutico y efectos adversos [Khan et al., 2018; Maramai et al., 2020].

Por otra parte, las plantas medicinales representan una fuente natural importante en la medicina tradicional y en el desarrollo de fármacos ya que se han aislado metabolitos secundarios con propiedades farmacológicas como son alcaloides, glicósidos, saponinas, terpenoides, fenoles y flavonoides (anticolinérgicos, antiinflamatorios, anticancerígenos, antioxidantes, sedantes y antidiabéticos, antimicrobianos, antisépticos, antialérgicos y antivirales) [Figura 1] [Behloul y Wu, 2013; Das y Gezici, 2018; Khan et al., 2018; Velu et al., 2018; Barreca et al., 2020; Chávez-Pérez et al., 2021].

Figura 1. Productos naturales empleados como fármacos.



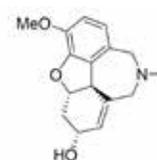
*Taxus brevifolia*



Paclitaxel (Anticancerígeno)



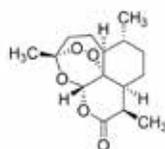
*Galanthus nivalis*



Galantamina (Tratamiento para Alzheimer)



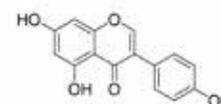
*Artemisia annua*



Artemisina (Antimálarico)



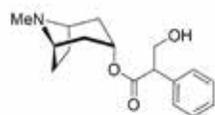
*Genista tinctoria*



Genisteína (Antidiabético) (anti-obesidad)



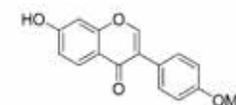
*Atropa belladonna*



Atropina (Antiespasmódico)



*Trifolium pratense*



Formononetina (Anticancerígeno) (Neuroprotector)

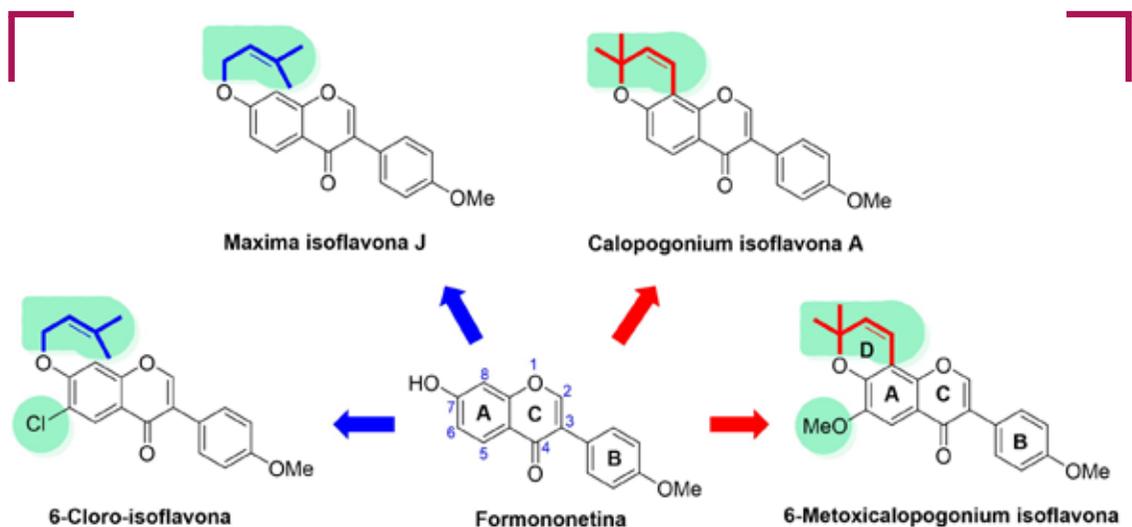


Figura 2. Isoflavonas preniladas como potenciales inhibidores de acetilcolinesterasa.

De los metabolitos secundarios, los de tipo alcaloide han sido la base para el desarrollo de fármacos dirigidos al tratamiento de la enfermedad de Alzheimer, sin embargo, las isoflavonas naturales y sintéticas han mostrado potencial efecto neuroprotector [Enamorado-Rodríguez, 2017; Ribaud et al., 2019; Wang et al., 2019]. Las isoflavonas son denominadas fitoestrógenos debido a su estructura similar a los estrógenos mostrándose como cardioprotectores, antioxidantes, antidiabéticos, anticancerígenos y neuroprotectores [Tay et al., 2019; Karmakar et al., 2019]. Formononetina, es una hidróxi-isoflavona con propiedades anticancerígenas y neuroprotectoras [Tian et al., 2022; Singh et al., 2023] además, ha sido intermediario en la obtención de derivados con potente actividad antidiabética [inhibición en  $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa] y tratamiento para la enfermedad de Alzheimer [inhibición de acetilcolinesterasa] [Wang et al., 2019]. Considerando que las isoflavonas son una alternativa importante en el diseño y desarrollo de nuevos compuestos con actividad neuroprotectora, el presente trabajo evalúa *in vitro* el potencial inhibitorio sobre acetilcolinesterasa de isoflavonas funcionalizadas derivadas de la isoflavona natural formononetina [Figura 2].



## 2

## Materiales y métodos

### 2.1 Materiales

Los siguientes reactivos se adquirieron de Sigma-Aldrich Co. LLC (st Louis, MO): acetilcolinesterasa de *Electrophorus electricus*, acetilcolina, reactivo de Ellman, tacrina, dimetilsulfóxido y fosfato de sodio monobásico. Las isoflavonas preniladas [calopogonium isoflavona A, 6-metoxicalopogonium isoflavona y maxima isoflavona J] fueron sintetizadas previamente como se describe en la literatura [Hernández-Gutiérrez et al., 2024].



### 2.2 Determinación de la actividad inhibitoria de acetilcolinesterasa

La actividad inhibitoria de AChE se determinó empleando el método colorimétrico de Ellman con algunas modificaciones [Ellman et al., 1961]. La mezcla de reacción con 275  $\mu\text{L}$  de búfer de fosfatos (0.1 M, pH 8.0), 50  $\mu\text{L}$  del inhibidor (en concentraciones de 0.1 a 4.0 mM), 50  $\mu\text{L}$  de sustrato acetilcolina (0.5 mM) y 25  $\mu\text{L}$  de enzima AChE [5 U/mL] se incubó a 30 °C durante 30 minutos. Posteriormente, se adicionaron 100  $\mu\text{L}$  de reactivo de Ellman [2.52 mM]. La absorbancia de la mezcla resultante fue registrada a 412 nm en un lector de microplacas de 96 pocillos [Multiskan™ GO, Thermo Fisher Scientific]. Se prepararon dos mezclas [control y blanco] empleando el disolvente DMSO y búfer de fosfatos en lugar del inhibidor. El porcentaje de inhibición de la actividad de AChE [%In] se calculó utilizando la ecuación:

$$\%In = \left\{ \frac{A_{control} - A_{muestra}}{A_{control}} \right\} \times 100\%$$

donde  $A_{muestra}$  es la absorbancia de la muestra que contiene el compuesto isoflavona y  $A_{control}$  es la absorbancia de la mezcla de control. Todos los ensayos se realizaron por triplicado como mínimo. Se determinó la concentración de isoflavona en la mezcla necesaria para una inhibición del 50% de la actividad de AChE.

## 3

## Resultados y discusión

## 3.1 Inhibición de acetilcolinesterasa

El potencial neuroprotector de las isoflavonas naturales se muestra en la Tabla 1, y se reportó mediante la inhibición de la enzima AChE obteniendo su valor de  $CI_{50}$  empleando concentraciones de 0.1 mM – 4.0 mM de cada compuesto. Los resultados obtenidos se compararon con el control positivo tacrina (fármaco inhibidor de AChE) y se analizaron estadísticamente con el software minitab en su versión 19 y los valores se presentan como la media desviación estándar basada en cuatro replicas.

Las isoflavonas mostraron de moderada a débil inhibición con  $CI_{50}$  en un intervalo de 100 a 3000  $\mu$ M en comparación con tacrina ( $CI_{50} = 14.97 \mu$ M). Inicialmente, la formononetina mostró moderada inhibición con una  $CI_{50} = 100 \mu$ M. La presencia del grupo prenilo ciclado que une las posiciones C-7 y C-8 del núcleo de isoflavona [calopogium isoflavona A] resultó en la pérdida del efecto inhibitorio. Por su parte, la presencia de un grupo metoxilo en la posición C-6 [6-metoxicalopogonium isoflavona] no mostró efecto inhibitorio significativo. Para la isoflavona con el grupo prenilo lineal [máxima isoflavona J] la actividad observada es débil [ $CI_{50} = 1000 \mu$ M]. De manera

similar, 6-cloro-isoflavona con un átomo de cloro en la posición C-6 no favoreció el efecto biológico.

Estudios recientes han reportado a isoflavonas y piranoisoflavonas como potenciales inhibidores naturales [Venzke et al. 2013; Wu et al., 2019]. Derivados de piranosioflavonas con grupos electrodonadores [OH, OMe] y halógenos en el anillo B no favorecen la actividad. Por su parte la adición de grupos carbamatos, la actividad inhibitoria es favorecida [Wu et al., 2019]. Además, la introducción de alquilaminas en la posición C-7 del núcleo isoflavona incrementó significativamente la inhibición inhibitoria sobre acetilcolinesterasa [Wang et al., 2019].

Por tanto, dentro del núcleo de isoflavona, la presencia de grupos electrodonadores en la posición C-7 contribuyen con la actividad inhibitoria, con respecto a la presencia de un grupo prenilo lineal o ciclizado. Además, el grupo metoxilo en la posición C-6 favorece la inhibición. Por tanto, la isoflavona formononetina es un buen candidato para el diseño de nuevos compuestos con propiedades neuroprotectoras.

Table 1: Efecto inhibitorio de isoflavonas preniladas sobre acetilcolinesterasa.

Isoflavona	Acetilcolinesterasa $CI_{50}$ ( $\mu$ M) <sup>†</sup>
Formononetina	100.0 $\pm$ 0.01
Colopogonium isoflavona A	3000 $\pm$ 0.40
6-metoxicalopogonium isovano	150.0 $\pm$ 1.18
maxima isoflavona J	1000 $\pm$ 1.19
6-cloro-isoflavona	1500 $\pm$ 0.98
tacrina	14.97 $\pm$ 0.03

<sup>†</sup> Los valores están expresados como la media  $\pm$  SD. Los valores seguidos de letras iguales en la misma columna no difieren significativamente entre sí (ANOVA,  $p < 0.05$ , Tukey's Test).

# 4

## Conclusiones

Los derivados de la isoflavona formononetina mostraron un efecto inhibitorio de moderado a débil sobre AChE con respecto al fármaco tacrina, donde el grupo hidroxilo en la posición C-7 del núcleo isoflavona favorece la actividad biológica.

# 5

## Agradecimientos

A la Secretaría de Investigación y Posgrado-IPN [20240224, 20242920] y Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) [CF-2023-I-2072] por el financiamiento otorgado para la realización del presente trabajo.



# REFERENCIAS

- Barreca M, Spanò V, Montalbano A, Cueto M, Díaz MAR, Deniz I, Erdoğan A, Lukić BL, Moulin C, Taffin-de-Givenchy E, Spriano F, Perale G, Mehiri M, Rotter A, Thomas PO, Barraja P, Gaudêncio PS, Bertoni F [2020] Marine anticancer drugs agents: An overview with a particular focus on their chemical classes. *Mar. Drugs*. 18:619. <https://doi.org/10.3390/md18120619>
- Chávez-Pérez C, Ceballos-Ramírez A, Suárez-Castro A [2021] Efectos del uso del 17  $\beta$ -estradiol y la genisteína en la enfermedad de Alzheimer en mujeres con menopausia. *Rev. Esp. Geriatr. Gerontol.* 56:236-240. <https://doi.org/10.1016/j.regg.2021.04.005>
- Das K, Gezici S [2018] Secondary plant metabolites, their separation and identification, and role in human disease prevention. *Ann. Phytomed.* 7:13-24. <https://doi.org/10.21276/ap.2018.7.2.3>
- Dos Santos TC, Gomes TM, Pinto B. AS, Camara AL, Paes AMDA [2018] Naturally occurring acetylcholinesterase inhibitors and their potential use for Alzheimer's disease therapy. *Front. Pharmacol.* 9:1192. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01192>
- Ellman GL, Courtney KD, Andres JrV, Featherstone RM [1961] A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol.* 7:88-95. [https://doi.org/10.1016/0006/2952\(61\)90145-9](https://doi.org/10.1016/0006/2952(61)90145-9)
- Enamorados-Rodríguez Y, Ilyina A, Silva-Belmares Y, Vargas-Segura AI, Martínez-Hernández JL, Segura CEP [2017] Uso de plantas mexicanas con efecto inhibitorio sobre la enzima acetilcolinesterasa como un posible tratamiento para la enfermedad de Alzheimer. *Rev. Mex. Cienc. Farm.* 48:7-16.
- Hernández-Gutiérrez B, Cruz-López MC, Gómez-García O, Becerra-Martínez E, Jiménez-Montejo FE, Mendieta-Moctezuma A [2024] Alpha-glucosidase and Alpha-amylase inhibitors derived from naturally occurring prenylated isoflavones. *J. Mex. Chem. Soc.* 68:156-169. <https://doi.org/10.29356/jmcs.v68i1.2129>
- López-Camacho PY, Guzmán-Hernández RN, Hernández GVH, Díaz MJE, García-Sierra F, Basurto-Isias G [2017] Investigación y terapias en la enfermedad de Alzheimer basadas en beta amiloide y tau. *Arch. Neurocién.* 22:72-88.
- Karmakar A, Ambure P, Mallick T, Das S, Roy K, Begum NA [2019] Exploration of synthetic antioxidant flavonoid analogs as acetylcholinesterase inhibitors: An approach towards finding their quantitative structure-activity relationship. *Med. Chem. Res.* 28:723-741.
- Khan H, Mayra, Amin S, Kamal MA, Patel S [2018] Flavonoids as acetylcholinesterase inhibitors: Current therapeutic standing and future prospects. *Biomed. Pharmacother.* 101:860-870. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.03.007>
- Maramai S, Benchekroun M, Gabr TM, Yahiaoui S [2020] Multitarget therapeutic strategies for Alzheimer's disease: Review on emerging target combinations. *BioMed Res. Int.* 2020:5120230. <https://doi.org/10.1155/2020/5120230>
- Ribaudo G, Coghi P, Zanforlin E, Law BYK, Wu YYJ, Han Y, Qiu AC, Qu YQ, Wong VKW [2019] Semi-synthetic isoflavones as BACE-1 inhibitors against Alzheimer's disease. *Bioorg. Chem.* 87:474-483. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.03.034>
- Singh L, Kaur H, Chandra AG, Bhatti R [2023] Neuroprotective potential of formononetin, a naturally occurring isoflavone phytoestrogen. *Chem. Biol. Drug Des.* 103:e14353. <https://doi.org/10.1111/cbdd.14353>
- Tay KC, Tan LT, Chan CK, Hong SL, Chan KG, Yap WH, Pusparajah P, Lee LH, Goh BH [2019] Formononetin: A review of its anticancer potentials and mechanisms. *Front. Pharmacol.* 10:820. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.00820>
- Tian J, Wang X-Q, Tian Z [2022] Focusing on formononetin: Recent perspective for its neuroprotective potentials. *Front. Pharmacol.* 13:905898. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.905898>
- Velu G, Palanichamy V, Rajan AP [2018] Phytochemical and pharmacological importance of plant secondary metabolites in modern medicine. *Bioorganic phase in natural food: An overview*, 135-156. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74210-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74210-6_8)
- Venzke D, Carvalho FK, Ruani AP, Oliveira AS, Brighente IMC, Micke GA, Barison A, Pizzolatti MG [2013] PAMPA permeability, acetylcholinesterase inhibition and antioxidant activity of pyranoisoflavones from *Polygala molluginifolia* (Polygalaceae). *J. Braz. Chem. Soc.* 24:1991-1997. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20130249>
- Wang D, Hu M, Li X, Zhang D, Chen C, Fu J, Shao S, Shi G, Zhou Y, Wu S, Zhang T [2019] Design, synthesis, and evaluation of isoflavones analogs as multifunctional agents for the treatment of Alzheimer's disease. *Eur. J. Med. Chem.* 168:207-220. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.02.053>
- Wu C, Tu Y-b, Li Z, Li Y-f [2019] Highly selective carbamate-based butyrylcholinesterase inhibitors from a naturally occurring pyranoisoflavone. *Bioorg. Chem.* 88:102949. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2019.102949>



# MICROORGANISMOS QUE PRODUCEN LOS SABORES Y AROMAS DEL MEZCAL DE PAPALOMÉ (*Agave potatorum* Zucc.) DE SAN PEDRO, TEOZACOALCO, OAXACA.

Imelda Ramírez-Cuevas<sup>1</sup>, Claudia López-Sánchez<sup>2</sup>,  
Lina Pliego-Marín<sup>1</sup>, Felipe de Jesús Palma-Cruz<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Departamento de Ingenierías. Ex Hacienda de Nazareno s/n, San Jesús Nazareno, Santa Cruz, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233.

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Oaxaca. Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja No.125, esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Oaxaca. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja No.125, esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México.

Autor de correspondencia: [claudia.lopez@itoaxaca.edu.mx](mailto:claudia.lopez@itoaxaca.edu.mx) [Claudia López Sánchez]





## RESUMEN

La producción de mezcal en Oaxaca es mayormente artesanal, la fermentación se produce de forma espontánea, sin necesidad de un inóculo iniciador; y por una gran diversidad de levaduras y bacterias, provenientes del ambiente que rodea a la fábrica de producción, conocida comúnmente en Oaxaca como "palenque". En este estudio, se colectaron muestras de mosto durante la etapa de fermentación en San Pedro Teozacoalco, Nochixtlán Oaxaca; a las cuales se les midió el pH, la temperatura y los sólidos solubles disueltos. En el laboratorio, se aislaron y purificaron levaduras, bacterias ácido-lácticas [BAL] y bacterias ácido-acéticas [BAA] en medios selectivos. Las cepas obtenidas, se sometieron a caracterización morfológica colonial y microscópica, y a la identificación fenotípica mediante pruebas bioquímicas. De lo anterior, se determinaron tres géneros de levaduras: *Candida*, *Saccharomyces* y *Schizosaccharomyces*; cuatro géneros de bacterias ácido-lácticas: *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* y *Weissella*; y cinco géneros de bacterias ácido-acéticas: *Acetobacter*, *Acidomonas*, *Asaia*, *Gluconacetobacter* y *Gluconobacter*.

**Palabras clave:** mezcal, fermentación, levaduras, BAA/BAL.

## ABSTRACT

The production of mezcal in Oaxaca is mostly artisanal, fermentation occurs spontaneously, without the need for an initiating inoculum; and by a great diversity of yeasts and bacteria, coming from the environment surrounding the production factory, commonly known in Oaxaca as "palenque". In this study, must samples were collected during the fermentation stage in San Pedro Teozacoalco, Nochixtlán Oaxaca; which were measured pH, temperature and dissolved soluble solids. In the laboratory, yeasts, lactic acid bacteria [LAB] and acetic acid bacteria [AAB] were isolated and purified in selective media. The strains obtained were subjected to colonial and microscopic morphological characterization, and phenotypic identification by biochemical tests. From the above, three genera of yeasts were determined: *Candida*, *Saccharomyces* and *Schizosaccharomyces*; four genera of lactic acid bacteria: *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* and *Weissella*; and five genera of acetic acid bacteria: *Acetobacter*, *Acidomonas*, *Asaia*, *Gluconobacter* and *Gluconacetobacter*.

**Key words:** mezcal, fermentation, yeasts, LAB/AAB.



## Introducción

El mezcal es un producto ancestral y emblemático de México, engloba una serie de conocimientos y saberes, prácticas culturales, creencias y usos de una región en particular, lo cual le confiere al territorio y al producto una riqueza que es valorizada y valorada por el consumidor. La producción de mezcal tradicional es una de las actividades económicas que mantiene a comunidades enteras, siendo esta, una de las principales fuentes de ingresos en Oaxaca. De acuerdo con la NOM-070-SCFI-2016, el mezcal se define como “una bebida alcohólica destilada mexicana, cien por ciento de agave, obtenida por destilación de jugos fermentados con microorganismos espontáneos o cultivados, extraídos de cabezas maduras de agaves cocidos, cosechados en el territorio bajo la Denominación de Origen”. Esta bebida alcohólica se obtiene a partir de la destilación de mostos fermentados de *Agave spp.* En Oaxaca, la especie de *Agave* más empleadas para la elaboración de esta bebida alcohólica es *A. angustifolia* Haw. también conocido como maguey espadín [Palma Cruz, 1991].

Sin embargo, el maguey papalomé (*Agave potatorum* Zucc.) también se ha usado de forma predominante y con bastante aceptación, principalmente para la elaboración de un mezcal con propiedades sensoriales muy particulares [García Mendoza, 2010]. El aroma y sabor de las bebidas alcohólicas destila-

das son producidos por un gran número de compuestos volátiles y no-volátiles, los cuales forman una mezcla compleja que define estos atributos sensoriales, y consecuentemente la aceptación por el consumidor. Se sabe que ciertos volátiles ejercen un mayor impacto en la percepción del sabor de todas las bebidas destiladas. Estas características se las proporcionan los diferentes grupos funcionales como los aldehídos, alcoholes, ésteres, ácidos, cetonas, furanos, entre otros.

Los aldehídos son compuestos químicos que van a proporcionar aromas a hojas verdes, hierbas o frutas cuando son de cadena corta o tonos amargos desagradables conforme aumenta la longitud de la cadena. Los ésteres contribuyen fuertemente al aroma frutal, principalmente los ésteres de ácidos grasos de cadena corta. Los ácidos orgánicos producen sabores agrios, además los ácidos volátiles imparten aroma. Las cetonas tienen un impacto en el sabor de acuerdo con la longitud de la cadena. Los furanos son usualmente formados de carbohidratos por la reacción de Maillard, el 5-hidroxiacetilfurfural tiene un aroma suave a caramelo, heno y tabaco y el furfural tiene un aroma y sabor a caramelo y cereal [Vera Guzmán *et al.*, 2009].

Dentro del proceso de fermentación de esta bebida tradicional, se presentan poblaciones espontáneas

de bacterias y levaduras que se benefician entre sí para producir componentes que le otorgan diversidad de aromas y sabores al mezcal tradicional [López Sánchez *et al.*, 2020]. Las bacterias del ácido-láctico [BAL] y las bacterias del ácido- acético [BAA] logran destacar entre estas poblaciones espontáneas.

La fermentación es la etapa más importante en el proceso de elaboración del mezcal artesanal, ya que en esta etapa la bebida adquiere sus propiedades características; razón por la cual, se estudió a los consorcios microbianos que son los responsables de dicha acción, según lo han confirmado Jiménez Pacheco *et al.* [2021]. Para identificar a los microorganismos que componen una comunidad microbiana, se han utilizado enfoques multifásicos, aprovechando las ventajas que ofrecen, ya que combinan la caracterización de genotipos con su expresión fenotípica, debido a la gran diferencia que existe con la identificación taxonómica tradicional fenotípica entre morfotipos similares observados en diferentes condiciones ambientales [Espinoza Martínez *et al.*, 2022].

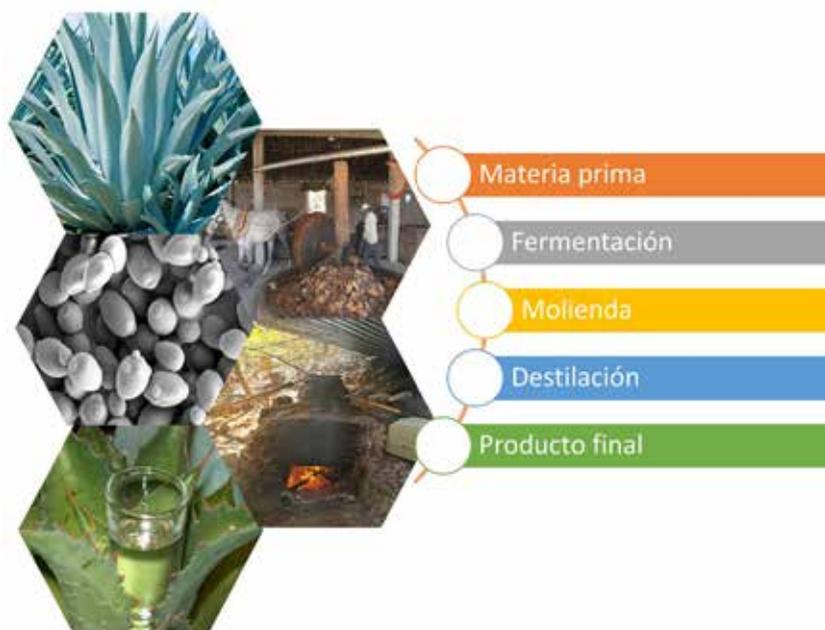


Figura 1. Proceso de producción del mezcal

## 2

### Desarrollo del tema

La presente investigación se llevó a cabo en el palenque (fábrica de mezcal), ubicado en el municipio de San Pedro Teozacoalco, Nochixtlán, Oaxaca; en donde se tomaron alícuotas de los mostos de la fermentación de *Agave potatorum* Zucc., a los cuales se les midió *in situ* los siguientes parámetros: sólidos solubles expresados en grados Brix, temperatura y el pH, las muestras se guardaron en frascos estériles. Posteriormente se trabajó en el laboratorio de Control Ambiental del Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica ubicado en el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Oaxaca, en donde se determinaron los azúcares reductores totales [ART] y directos [ARD], por el método de Lane-Eynon [AOAC 1990].

Utilizando tres medios selectivos: Agar Dextrosa y Papa [PDA] para levaduras, Man Rogosa Sharpe y Glucosa [MRS] para bacterias ácido lácticas [BAL], y Extracto de Levadura y Carbonato de Calcio [GYC] para bacterias ácido acéticas [BAA]; se aislaron varias cepas de los microorganismos presentes en el consorcio microbiano del mosto fermentado, y, se purificaron empleando los mismos medios de cultivo con los que se aislaron; posteriormente, se caracterizaron macroscópicamente las colonias de las cepas purificadas y microscópicamente sus células. Por último, cada una de las diferentes cepas aisladas, se sometieron a una caracterización fisiológica mediante pruebas bioquímicas para levaduras, BAL y BAA.

## 3

## Resultados

Se obtuvieron las muestras de los mostos de *Agave potatorum*, en las tinas de fermentación en el palenque ubicado en San Pedro Teozacoalco, y se les midieron el pH, la temperatura y los sólidos solubles disueltos en grados Brix; así como los azúcares reductores directos (ARD) y totales (ART)

### Parámetros fisicoquímicos

Muestra	pH	°Brix	Temperatura
Mosto de maguey papalometl [ <i>Agave potatorum</i> Zucc.]	4.54	7.2	24.1 °C

### Azúcares reductores

	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
ART (%)	0.85	1.02	0.93
ARD (%)	0.68	0.68	0.68

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de los mostos de la fermentación del mezcal.

### Caracterización morfológica macro y microscópica de cepas de levaduras aisladas.

Las levaduras son organismos unicelulares y forman colonias, por lo que al realizar la tinción simple fue relativamente fácil el reconocimiento de las diferencias de las células; en los ocho aislamientos logrados, se reconocieron cepas correspondientes a tres géneros: *Saccharomyces* como el más común, *Schizosaccharomyces* quien se caracteriza por tener células cilíndricas y los conidios tienen una base muy ancha, y *Candida* que presenta pseudohifas. La morfología colonial de las colonias de estas levaduras mostró que en su mayoría fueron de color blanco, redondas e irregulares, su consistencia suave y de grandes tamaños.



### Pruebas bioquímicas para identificar levaduras

Las ocho cepas distintas de levaduras, aisladas de los mostos de *Agave potatorum*, se sometieron a diferentes pruebas bioquímicas consistentes en la fermentación de diez carbohidratos diferentes: glucosa, fructosa, galactosa, sacarosa, lactosa, sorbitol, manosa, manitol, maltosa y xilosa (tabla 2); en donde se destaca que las cepas A, G y H fermentaron glucosa, fructosa y negativo en lactosa y sorbitol, lo cual es característico de levaduras del género *Saccharomyces*; en tanto que el resultado negativo, mostrado por las cepas C, D, E y F, en la fermentación de galactosa, lactosa, sorbitol, manitol y xilosa, son una de las particularidades fisiológicas que exhiben las levaduras del género *Candida*. Y la respuesta positiva de la fermentación de ocho de los diez azúcares probados, indicaron que la cepa B corresponde a levaduras del género *Schizosaccharomyces* (tabla 2).

Tabla 2. Pruebas de fermentación de carbohidratos para la identificación de levaduras

CARBOHIDRATOS	Cepas de levaduras							
	A	B	C	D	E	F	G	H
GLUCOSA	+	+	+	+	+	+	+	+
FRUCTOSA	+	+	+	+	+	+	+	+
GALACTOSA	-	+	-	-	-	-	+	-
SACAROSA	+	+	+	+	+	-	+	-
LACTOSA	-	-	-	-	-	-	-	-
SORBITOL	-	-	-	-	-	-	-	-
MANOSA	+	+	+	+	+	+	+	+
MANITOL	-	+	-	-	-	-	-	-
MALTOSA	-	+	+	+	+	+	-	+
XILOSA	-	+	-	-	-	-	-	-

A, G y H Saccharomyces

C, D y E Candida

B. Schizosaccharomyces



### Pruebas bioquímicas para identificar bacterias ácido-lácticas (BAL)

Para la identificación de las bacterias ácido-lácticas presentes en los mostos de *Agave potatorum*, las cepas se sembraron en los medio de cultivo Elliker (también conocido como agar Lactobacilli), M17, M5, y se observó la producción de nitratos [NO<sub>3</sub>] y de dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>], cuando crecían en el medio MRS, así como su respuesta a la Catalasa. A partir de lo cual se determinó que las ocho cepas aisladas corresponden a cinco géneros: *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* y *Weisella*.

### Pruebas bioquímicas para identificar bacterias ácido-acéticas

Para la identificación de las bacterias se tuvieron en cuenta los resultados de las siguientes doce pruebas bioquímicas: 1) reacción a la catalasa, 2) oxidación de acetato; 3) producción de ácido a partir de: manosa, glucosa, manitol, sorbitol, lactosa, sacarosa, galactosa, glicerol, etanol, propanol; 4) crecimiento en agar manitol, 5) crecimiento en agar glutamato, 6) crecimiento en agar metanol como fuente de carbono, 7) formación de dihidroxiacetona a partir de glicerol, 8) crecimiento en 1% nitrato de potasio, 9) crecimiento en 0.35% (v/v) de ácido acético, 10) crecimiento en 30% de glucosa, 11) oxidación de etanol a dióxido de carbono y, 12) crecimiento en 3% de cloruro de sodio. Y después del exhaustivo escrutinio fisiológico se determinó que las 11 cepas aisladas de los mostos de la fermentación del maguey papalomé corresponden a cinco géneros de BAA: *Acetobacter*, *Gluconobacter*, *Acidomonas*, *Gluconacetobacter* y *Asaia*.

Los microorganismos encontrados en este trabajo son de gran importancia durante el proceso de la fermentación del mezcal, y con ello se contribuye a reafirmar que Oaxaca cuenta con una gran diversidad de microorganismos favorables no sospechados en la producción del mezcal, tal y como otros autores lo han hecho en otras regiones de la misma entidad federativa: López-Sánchez et al. [2020 y 2023]; Espinoza-Martínez et al., [2020 y 2023]; Maza-López et al. [2023]; Lazcares- Contreras et al. [2023]; Santiago-Santiago et al. [2023].

# 4

## CONCLUSIONES

En esta investigación se lograron identificar, por métodos convencionales, a doce géneros microbianos responsables en la fermentación del mosto de *Agave potatorum* Zucc., de ellos tres son levaduras, cuatro bacterias ácido-acéticas y cinco bacterias ácido-lácticas. Entre ellas se encuentran *Saccharomyces* que es la más común entre las levaduras, pero de igual manera obtuvimos otros géneros como *Candida* y *Schizosaccharomyces*; en tanto que, de las BAL, se identificaron a los géneros *Lactobacillus*, *Strepto-*



*coccus*, *Leuconostoc* y *Weissella*; y de las BAA los géneros *Acetobacter*, *Acidomonas*, *Asaia*, *Gluconacetobacter* y *Gluconobacter*. Es importante resaltar que este trabajo es el punto de partida para realizar estudios de identificación molecular de las cepas en estudio, así como los análisis con espectrometría de masas sobre los compuestos químicos que son los responsables de los aromas y sabores de los mezcales artesanales y ancestrales de Oaxaca.



# REFERENCIAS

AOAC [Association of Official Analytical Chemists]. [1990]. Official Methods of Analysis: Changes in Official Methods of Analysis Made at the Annual Meeting. Supplement [Vol. 15].

Espinoza-Martínez, V. A., Jiménez-Pacheco, A., Palma-Cruz, F. J., & López-Sánchez, C. [2020]. Diversidad microbiana durante la fermentación del proceso de producción de artesanal de mezcal en Coixtlahuaca, Oaxaca. Revista del Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Mérida 35 [86]: 68-74.

Espinoza-Martínez V. A., López-Sánchez, C., Palma-Cruz F. J. [2022]. Identificación polifásica de consorcios microbianos de la fermentación del mezcal en

Oaxaca. Revista del Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Mérida 37 [94]: 142-146.

Espinoza-Martínez V. A., Álvarez-Gutiérrez P. E., Palma-Cruz F. J., Enríquez-Valencia R., Ramírez-López, M. P., López-Sánchez C., Vázquez-López H. G. [2023]. Influence of the biotechnological process of mezcal fermentation on yeast diversity in four palenques of Oaxaca, México. Beverages 9: 99.

García-Mendoza A. J. [2010]. Revisión taxonómica del complejo *Agave potatorum* Zucc. (Agavaceae): nuevos taxa y neotipificación. Acta Botánica Mexicana 91: 71-93.

Jiménez-Pacheco, A., Espinoza-Martínez, V., López-Sánchez, C. & Palma-Cruz, F.J. [2021]. Dinámica

poblacional del consorcio microbiano de la fermentación del mezcal de Concepción Buenavista, Coixtlahuaca, Oaxaca. Revista Mexicana de Investigación en Productos Naturales 1[1]: 190.

Lazcares- Contreras H. L., López-Sánchez C., González-Martínez C. Y. & Palma-Cruz F. J. [2023]. Levaduras y bacterias lácticas asociadas con agave convallis en la producción de mezcal artesanal en Oaxaca. Revista del Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Mérida 38 [10]: 199-202.

López-Sánchez, C., Espinoza-Martínez V. A., Palma-Cruz F. J. [2020]. Consorcio microbiano de la fermentación del mezcal artesanal en San Dionisio Ocotepc, Oaxaca. Revista del Centro de Graduados

e Investigación del Instituto Tecnológico de Mérida 35 [83]: 44-47.

Maza-López B., López-Sánchez C., Galván-Espinosa J., Ramírez-López M. P., y Palma-Cruz F. J. [2023]. Bacterias involucradas en la producción de mezcal tradicional en Oaxaca con *Agave angustifolia* Haw. Revista del Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Mérida 38 [99]: 132-138.

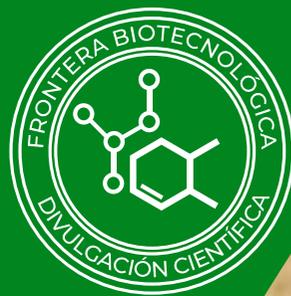
Palma-Cruz, F. J. [1991]. El género *Agave* L. y su distribución en el estado de Oaxaca. Tesis de licenciatura en Biología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala- UNAM. 171 p.

Santiago-Santiago B. A., López-Sánchez C., y Palma-Cruz, F. J.

[2023]. Levaduras y bacterias lácticas asociadas a la fermentación del mezcal tradicional de *Agave rhodacantha* y *Agave marmorata*. Revista del Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Mérida 38 [101]: 161-164.

Vera Guzmán, A. M., Santiago García, P. A., & López, M. G. [2009]. Compuestos volátiles aromáticos generados durante la elaboración de mezcal de *Agave angustifolia* y *Agave potatorum*. Revista Fitotecnia Mexicana 32[4]: 273-279.

# LA SEGUNDA VIDA DEL AGAVE: NUEVAS APLICACIONES PARA RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE LAS INDUSTRIAS DEL TEQUILA Y MEZCAL



Ana M. Avila-Galván<sup>1</sup>, Juliana Morales-Castro<sup>1\*</sup>, Héctor A. Ruíz-Leza<sup>2</sup>; Orlando A. Manzanares-Meza<sup>1</sup>, Blanca E. Morales-Contreras<sup>1</sup>, María Inés Guerra-Rosas<sup>1</sup> y Walfred Rosas-Flores<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Durango, Departamento de Ingenierías Química y Bioquímica. Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote., Nueva Vizcaya, 34080. Durango Dgo., México.

<sup>2</sup> Biorefinery Group. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza, 25280, Saltillo, Coahuila, México.

Autor de correspondencia:  
jmorales@itdurango.edu.mx



## RESUMEN

Las plantas de agave han sido fundamentales en la cultura mexicana desde tiempos prehispánicos, utilizadas en la preparación de alimentos, bebidas populares y en la elaboración de textiles artesanales. Existen 210 especies conocidas de agave, 159 presentes en México y 129 endémicas, de las cuales, algunas son clave en la producción de bebidas típicas y populares como el tequila y el mezcal. La producción de tequila incrementó su producción en un 120% entre 2000 y 2023, mientras que el mezcal aumentó de 980,375 a 14,165,505 litros entre 2011 y 2022. Este incremento en la producción genera cantidades enormes de residuos, que han llegado a alcanzar cerca de 1.7 millones de toneladas anuales (SIAP, 2021) entre hojas, bagazos y vinazas, que, si no se tratan adecuadamente, pueden causar problemas ambientales. Estos residuos contienen compuestos útiles, azúcares, como celulosa, hemicelulosa y lignina, que pueden aprovecharse para producir biocombustibles, bioplásticos, y otros productos de valor agregado. El aprovechamiento de estos subproductos no solo ayuda a mitigar problemas ambientales, sino que también ofrece oportunidades para el desarrollo económico y social.

El presente trabajo es una revisión de las principales rutas de valorización que se siguen actualmente para el aprovechamiento de los diferentes residuos de agave generados por las industrias del tequila y del mezcal.

**Palabras clave:** Tequila, mezcal, hojas de agave, bagazo, vinazas y valorización de subproductos

## ABSTRACT

Agave plants have been fundamental in Mexican culture since pre-Hispanic times, used in the preparation of foods and spirits and in the creation of artisanal textiles. There are 210 known species of agave, with 159 present in Mexico and 129 endemic, some of which are key in the production of popular traditional beverages such as tequila and mezcal. The tequila production increased 120% between 2000 and 2023, and mezcal production rising from 980,375 to 14,165,505 liters between 2011 and 2022. This increase in production generates enormous amounts of waste (leaves, bagasse, and vinasses), which, if not properly treated, can cause environmental problems. These wastes contain useful compounds, such as sugars, cellulose, hemicellulose, and lignin, that can be utilized to produce biofuels, bioplastics, and other value-added products. The utilization of these by-products not only help to mitigate environmental problems but also offers opportunities for economic and social development.

This work is a review of the main valorization routes currently being followed to utilize the different agave wastes generated by the tequila and mezcal industries.

**Key words:** Tequila, mezcal, Agave leaves, Bagasse, Vinasse, Valorization of By-products

## Introducción

Las plantas de agave (comúnmente conocidas como “maguey”) eran ya utilizadas por la cultura Azteca en diversas actividades socioculturales, representando la base para la preparación de diferentes alimentos y bebidas (como el pulque o el mezcal), y en la elaboración de tejidos y textiles artesanales típicos [García-Mendoza, 2007; Perez-Zavala et al., 2020].

Hasta el momento, se conocen cerca de 210 especies de agaves en el mundo, de las cuales 159 están presentes en México, mientras que 129 son endémicas de la región [Álvarez-Chávez et al., 2021], dentro de ellas, destacan cuatro principales variedades: *Agave tequilana*, *Agave salmiana*, *Agave angustifolia*, y *Agave durangensis*, ampliamente utilizadas para la preparación de bebidas populares como el mezcal, tequila, pulque, sotol, o bacanora [Álvarez-Chávez et al., 2021; Perez-Zavala et al., 2020]. En este contexto, el consumo de bebidas típicas a base de agave ha presentado un gran crecimiento en años recientes. De acuerdo con datos reportados por el Consejo Regulador del Tequila, la producción de esta bebida presentó un crecimiento exponencial del 2000 al 2023 con un aumento del 120%, produciendo cerca de 651 millones de litros para el año 2022 [CRT, 2023]; similar a lo ocurrido con la producción de mezcal, que presentó un aumento en su producción de 980,375 a 14,165,505 litros producidos por año en el periodo de 2011 a 2022 [COMERCAM, 2023].

Por lo anterior, es de esperarse que en conjunto con el incremento en la producción de bebidas a base de agave, se generen simultáneamente grandes volúmenes de residuos diversos generados en el proceso de producción de estas bebidas. Al final del procesamiento de la producción del mezcal o tequila, quedan residuos agrupados y denominados como pencas, bagazos, y vinazas [Paniagua-Pérez et al., 2022], cuya excesiva producción y acumulación (en caso de no recibir un tratamiento adecuado) podría generar un serio problema medioambiental [Hoz-Zavala & Nava-Diguero, 2017].

¿Cómo resolver o prevenir estas problemáticas? pues bien, a pesar de ser considerados como “residuos,” estos subproductos de agave presentan una composición química rica en diferentes compuestos de interés como [azúcares, celulosa, hemicelulosa, lignina, ceras, saponinas y terpenos, entre otros, son ejemplos de ello] que los convierte en material de interés para la generación de otros productos de valor agregado [Álvarez-Chávez et al., 2021; Palomo-Briones et al., 2017].



## 2

## Residuos de agave como fuente potencial de nuevos productos

Como se ha comentado, los residuos más comúnmente generados en la producción de tequila y mezcal son las hojas (pencas), bagazos y vinazas, generados en las diferentes etapas del proceso (Figura 1), aunque otros residuos adicionales también son generados mediante el mismo (espinas, raíces, y cutícula). Todos los residuos mezcaleros y tequileros antes mencionados han demostrado poseer un significativo potencial de valorización mediante su aprovechamiento en la generación de productos de alto valor agregado (Estrada-Maya & Weber, 2022; Márquez-Rangel et al., 2023; Zelaya-Benavidez et al., 2022a).

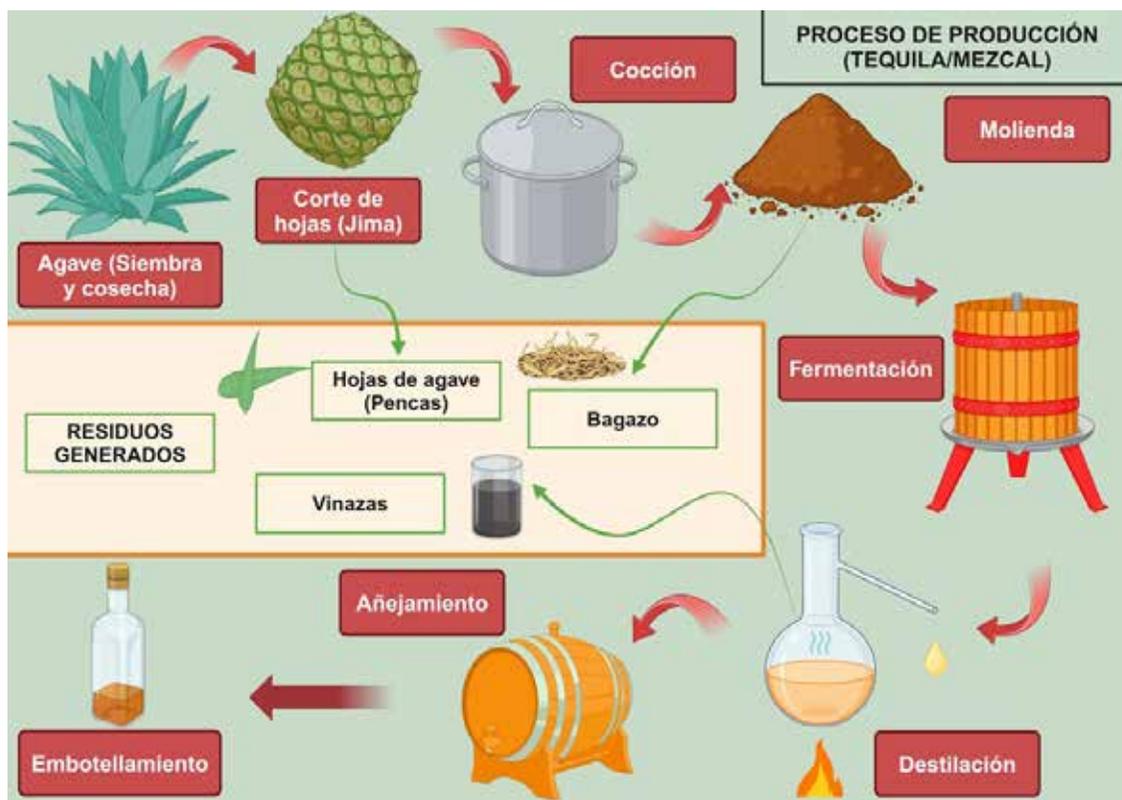


Figura 1. Proceso de producción de tequila/ mezcal y principales residuos generados en cada etapa.

## Pencas de agave: residuo multifuncional

Durante el proceso de obtención de piñas de agave (mejor conocido como “jima”) para la producción de tequila y mezcal, las pencas de agave son retiradas de estas con la finalidad de obtener la parte de la planta de agave con mayor concentración de azúcares, la piña, lo que garantiza una mejor calidad del producto final. Estas pencas representan típicamente entre el 30 y el 50% del peso de la planta completa, y, generalmente, son desechadas al ser consideradas como residuos [Perez-Zavala et al., 2020]. Estos residuos presentan alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que son usualmente conocidos como “residuos lignocelulósicos” y son considerados como fuentes importantes para la generación de biocombustibles y otros derivados (celulosa y materiales nanocelulósicos) [Contreras-Hernandez et al., 2018; Krishnadev, 2020].

Además de su composición química básica, cuyo alto contenido de lignocelulosa permite la formación de fibras de alta resistencia (normalmente utilizadas para la elaboración de tejidos y textiles tradicionales), las pencas de agave representan una gran área de oportunidad para la obtención de compuestos nutraceuticos de gran interés, incluyendo flavonoides, compuestos fenólicos, antioxidantes, agavinas, prebióticos, fructanos y terpenos cuya actividad funcional y efecto benéfico en la salud humana constituye una tarea de interés [Bermudez-Bazan et al., 2024; Garcia-Villalba et al., 2023; Jiménez-Ortega et al., 2024; Luna-Solís et al., 2024]; por otro lado, su implementación como posible medio para el crecimiento microbiano y producción de azúcares es un área que se encuentra en exploración [Flores-Méndez et al., 2023].



Asimismo, su utilización como materia prima para la generación de sustitutos de plástico ha sido positivamente evaluada, permitiendo la formulación de bioplásticos de elevada resistencia térmica y gran potencial de biodegradabilidad, representando una alternativa a la utilización de plásticos convencionales [Langhorst et al., 2019]; biopolímeros compuestos [Huerta-Cardoso et al., 2022; Sifuentes-Nieves et al., 2021]; en la producción de polyhidroxibutirato, (PHB), biopolímero bacteriano, las fibras, pencas, bagazo y vinasas, han sido evaluadas [Martínez-Herrera et al., 2021a, Martínez-Herrera et al., 2021b]. Adicionalmente, se consideran un excelente sustrato para la producción de enzimas, [Jiménez-Ortega et al., 2024],

así como fuente de hongos para la producción de enzimas [Contreras-Hernández, et al., 2018] con amplio potencial de aplicación en las industrias alimentaria, farmacéutica y agrícola.

Finalmente, con el incremento constante en el requerimiento de fibras sintéticas relacionado con el aumento poblacional, se ha dado lugar a la generación de sustitutos naturales

de éstas. Las pencas de agave han demostrado un amplio potencial para la producción de fibra, presentando características similares a los sintéticos y diversos beneficios adicionales, tales como un alto nivel de biodegradación, dado su origen completamente natural [Cheikh et al., 1999; Thamarai-Selvi et al., 2023]. Estas características han sido aprovechadas en la fabricación de productos ecológicos que ya están siendo comercializados para diversas marcas, que incluye, productos desechables, como cucharas, vasos para café, platos, popotes, además de, servilletas, hieleras, termos, estropajos, paños de agave, entre una gran variedad de productos [Hernández-Hernández y Soriano-Corral, 2020].

## Bagazo de agave: origen de productos de valor agregado

Diferentes autores han estimado que para la producción de un litro de tequila/mezcal se requieren entre 6 y 8 kg de piñas de agave, generando entre 1 y 2 Kg de bagazo [Cámara Nacional de la Industria Tequilera, 2020]. El bagazo es el material residual generado después de que las piñas de agave han sido trituradas, cocidas, molidas y sus azúcares han sido extraídos para la generación del producto, y representa cerca del 40% del peso total del agave procesado [Estrada-Maya & Weber, 2022]. De manera similar a las pencas de agave, el bagazo tequilero y mezcalero está principalmente compuesto por celulosa (59.3%), hemicelulosa (15.4%) y lignina (17.2%), lo que permite su aplicación en el ámbito biotecnológico [Chairez-Aquino et al., 2015], además de presentar otros compuestos bioactivos, incluyendo saponinas, azúcares, fructanos, y diversos compuestos fenólicos de interés [Santos-Zea et al., 2019].

Derivado de la diversidad de compuestos presentes, el bagazo ha sido evaluado en la producción de biocombustibles y representa la principal área de exploración, debido a su elevado contenido de celulosa y hemicelulosa, que dan lugar al desarrollo de procesos bajo el concepto de la biorrefinería, con enfoque en la generación de biocombustibles y derivados [Palomo-Briones et al., 2017; Singh et al.,

2021]; así como su implementación como potencial medio de cultivo para la generación de metabolitos secundarios de interés a partir del procesamiento microbiano [Escobedo-García et al., 2023; Flores-Méndez et al., 2023].

Adicionalmente, la incorporación del bagazo de agave como componente principal en la producción de alimento para consumo animal y forrajes ha sido evaluada por diversos autores [Delgadillo-Ruiz et al., 2015]. La adición del bagazo en la preparación de dietas animales ha demostrado diversos efectos positivos en la calidad del producto cárnico final, demostrando mejoras en la composición nutricional, en comparación con alimentos animales del tipo comercial [Guerra-Medina et al., 2015]. Estos beneficios incluyen una mayor concentración de fibras, proteína y carbohidratos que contribuyen a una mayor capacidad de digestibilidad para el animal [Gutiérrez et al., 2019].

Por otro lado, la valorización del bagazo tequilero y mezcalero con enfoque en la elaboración de materiales para construcción y similares es un área en pleno desarrollo que da lugar a la explotación de estos residuos para la generación de materia prima básica para el desarrollo de sociedad actual, inclu-



yendo la elaboración de aglomerados y tableros de fibra de densidad media [MDF por sus siglas en inglés], triplay, y bloques de tierra comprimida [Escudero-Enríquez et al., 2023; Moreno-Anguiano et al., 2022; Vera-Romero et al., 2023].

De manera semejante, la elaboración de alimentos enriquecidos con bagazo de agave ha captado la atención de la comunidad científica, dado que representa una alternativa al aprovechamiento de tales residuos mediante la generación de alimentos de propiedades funcionales y sensoriales atractivas

y composición química altamente nutritiva [Alarcón-Martínez et al., 2023]. Hasta ahora, el desarrollo de estos productos se encuentra aún en etapas exploratorias, y el enfoque principal ha sido dirigido a la fabricación de productos de panificación, que aprovechan la estructura natural del bagazo mezcalero/tequilero [Carlos-Delgado, 2022], aunque los resultados generados hasta ahora, sugieren un gran potencial para su exitosa implementación en el contexto comercial.

## Vinazas, ¿problemática medioambiental o materia prima?

Las vinazas son las aguas residuales generadas a partir de la destilación del tequila y el mezcal, se ha estimado una generación promedio de estos residuos de entre 8 a 15 L por cada litro de bebida producido [Gómez-Guerrero et al., 2018]. Estos residuos son típicamente liberados de manera indiscriminada al medio ambiente [sin previo tratamiento], lo cual representa una seria problemática medioambiental al tratarse de líquidos altamente recalcitrantes, de pH extremadamente ácido y alta carga orgánica, afectando directamente a la fauna y flora circundante [Zelaya-Benavidez et al., 2022a]. A pesar de esto, las vinazas mezcaleras y tequileras son sustancias ricas en compuestos tales como sales, compuestos aromáticos y fenólicos, diversos tipos de alcoholes y ácidos orgánicos, calcio, fósforo, nitrógeno, azufre, azúcares residuales, y materia orgánica diversa [Rodríguez-Félix et al., 2018].

El aprovechamiento de estos residuos agroindustriales, limitado actualmente a la escala de laboratorio y planta piloto, está enfocado principalmente en su utilización como materia prima para la generación de bioproductos y derivados, incluyendo la producción de metano y biocombustibles de segunda generación [Gómez-Guerrero et al., 2018; Zelaya-Benavidez et al., 2022b], y como constituyente principal en la elaboración de biofertilizantes de elevado potencial de nutrición en cultivos de interés tales como la lechuga, tomate y pepino, además de otras hortalizas [Zelaya-Benavidez et al., 2022a].

## 3

## Conclusiones

Los residuos agroindustriales provenientes de las industrias mezcaleras y tequileras representan un gran potencial como fuentes de productos de valor agregado, cuya explotación, además de representar una alternativa a la temática ambiental, permitirá el desarrollo de tecnologías, procesos y productos de alto impacto en la sociedad tal como se ha presentado en este artículo de revisión. Actualmente, ya existen, a nivel comercial, diversos productos en el mercado generados a partir de la valorización integral de residuos de agave, tal como han sido aquí mencionados, y otros más, como sustitutos plásticos (homólogos a desechables de polipropileno y

poliestireno), forrajes, fertilizantes y fibras textiles, han sido producidos y comercializados con éxito mediante el aprovechamiento de tales residuos. Si bien, los estudios presentados sobre el aprovechamiento de estos residuos son importantes, hay un gran campo de oportunidad para seguir explorando, especialmente, en cuanto a las aplicaciones en numerosos sectores que permitan amplificar las rutas de valorización, lo que indudablemente traerá consigo, nuevas oportunidades para la creación de empresas, para el desarrollo económico y social y contribuir a disminuir el impacto medioambiental negativo derivado de su no utilización.

## 4

## Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca No. 946418.



# REFERENCIAS

- Alarcón-Martínez, G. A., Buitrago-Arias, C., Martínez-Valverde, R., & Camacho-Díaz, B. H. (2023). Producto de panificación funcionalizado con fibras de bagazo impregnadas con cúrcuma. 3er Congreso Nacional y 1er Congreso Internacional Oaxaca, México.
- Álvarez-Chávez, J., Villamiel, M., Santos-Zea, L., & Ramírez-Jiménez, A. K. (2021). Agave By-Products: An Overview of Their Nutraceutical Value, Current Applications, and Processing Methods. *Polysaccharides*, 2(3), 720-743. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2030044>
- Bermudez-Bazan, M., Estarron-Espinosa, M., Castillo-Herrera, G. A., Escobedo-Reyes, A., Urias-Silvas, J. E., Lugo-Cervantes, E., & Gschaedler-Mathis, A. (2024). *Agave angustifolia* Haw. Leaves as a Potential Source of Bioactive Compounds: Extraction Optimization and Extract Characterization. *Molecules*, 29(5). <https://doi.org/10.3390/molecules29051137>
- Cámara Nacional de la Industria Tequilera. (2020).** Carlos-Delgado, A. A. (2022). Desarrollo y evaluación de un pan funcional tipo muffin a base de residuos de *Agave salmiana* adicionado con probióticos [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].
- Chairez-Aquino, J., Enriquez-del-Valle, J. R., Ruiz-Luna, J., Campos-Ángeles, G. V., & Martínez-García, R. (2015). Waste Pulp from *Agave spp* and Corn Leaves used to Growth the Mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 2(1), 23-28.
- Cheikh, R. B., Brahim, S. B., Baklouti, M., & Sassi, B. H. (1999). The agave fibers in composite materials. *Ecole Nationale d'Ingenieurs de Tunis: Le Belvédère, Tunis [TUNISIA]*.
- COMERCAM. (2023). Informe Estadístico 2023.** Contreras-Hernandez, M. G., Ochoa-Martínez, L. A., Rutiaga-Quinones, J. G., Rocha-Guzman, N. E., Lara-Ceniceros, T. E., Contreras-Esquivel, J. C., Prado Barragan, L. A., & Rutiaga-Quinones, O. M. (2018). Effect of ultrasound pre-treatment on the physicochemical composition of *Agave durangensis* leaves and potential enzyme production. *Bioresources Technology*, 249, 439-446. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.009>
- CRT. (2023). Informe Estadístico 2023.** Delgadillo Ruiz, L., Bañuelos Valenzuela, R., Esparza Ibarra, E. L., Gutiérrez Bañuelos, H., Cabral Arellano, F. J., & Muro Reyes, A. (2015). Nutrient profile evaluation of agave bagasse as alternative feedstuffs for ruminants. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(SPE11), 2099-2103.
- Escobedo-García, S., Flores-Gallegos, A. C., Salas-Tovar, J. A., González-Herrera, S. M., Palomo-Ligas, L., Campos-Muzquiz, L. G., & Rodríguez-Herrera, R. (2023). Agave bagasse cookies as a carbon source for lactic acid bacteria. *Environmental Quality Management*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tqem.22051>
- Escudero-Enriquez, E., Montaña, O. D. L., Guido, S. I. M., & Gutiérrez-Antonio, C. (2023). BAGAZO DE AGAVE, LA OTRA CARA (VALIOSA) DE LA PRODUCCIÓN DE TEQUILA. *Naturaleza y Tecnología*, 10.
- Estrada-Maya, A., & Weber, B. (2022). Biogás y bioetanol a partir de bagazo de agave sometido a explosión de vapor e hidrólisis enzimática. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 23(2), 1-10. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.2.009>
- Flores-Méndez, D. A., Pelayo-Ortiz, C., Martínez Gómez, Á. d. J., Toriz, G., Guatemala-Morales, G. M., & Corona-González, R. I. (2023). Evaluation of *Agave tequilana* by-products for microbial production of hyaluronic acid. *Bioresource Technology Reports*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101366>
- García-Mendoza, A. J. (2007). Los Agaves de México. *Ciencias* (87), 14-23.
- García-Villalba, W. G., Rodríguez-Herrera, R., Ochoa-Martínez, L. A., Rutiaga-Quinones, O. M., Lopez, M. G., Gallegos-Infante, J. A., Bermudez-Quinones, G., & Gonzalez-Herrera, S. M. (2023). Comparative study of four extraction methods of fructans (agavins) from *Agave durangensis*: Heat treatment, ultrasound, microwave and simultaneous ultrasound-microwave. *Food Chemistry*, 415, 135767. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135767>
- Gómez-Guerrero, A. V., Valdez-Vazquez, I., Caballero-Caballero, M., Chiñas-Castillo, F., Alavéz-Ramírez, M., & Montes-Bernabé, J. L. (2018). Co-Digestion of *Agave angustifolia* Haw bagasse and vinasses for biogas production from mezcal industry. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(3), 1073-1083. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2019v18n3/Gomez>
- Guerra-Medina, C. E., Montañez-Valdez, O. D., Ley-de-Coss, A., Reyes-Gutiérrez, J. A., Gómez-Peña, J. E., Martínez-Tinajero, J. J., & Pinto-Ruiz, R. (2015). Alternative sources of fiber in complete diets for sheep in intensive fattening. *Quehacer científico en Chiapas*, 10(1).
- Gutiérrez, L., Aguirre, L., Ortiz, B., Lima, R., Rodríguez, Z., González, A., & Elías, A. (2019). Nutritional assessment of bagasse of *Agave fourcroydes* (henequen) for use in animal feed. *Bosques Latitud Cero*, 10(1), 29-38.
- Hernández-Hernández, E., Soriano-Corral, F. (2020). Fibra de Agave y Plásticos. Una pareja versátil y prometedora para diversas aplicaciones. Nota del 25 Agosto del 2020. <https://ciqa.mx/FibraAgavePla.aspx>
- Hoz-Zavala, M. E., & Nava-Diguero, P. (2017). Los residuos de agave como factor de corrosión del suelo donde se vierten. *Revista de Desarrollo Tecnológico* 1(2), 11-24.
- Huerta-Cardoso, O., Durazo-Cardenas, I., Longhurst, P., & Encinas-Oropesa, A. (2022). "Film-stacking method as an alternative *Agave tequilana* fibre/PLA composite fabrication". *Materials Today Communications*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.103853>
- Jiménez-Ortega, L. A., Valdez-Baro, O., Bernal-Millán, M. J., Rivera-Salas, M. M., & Heredia-Basilio, J. (2024). Agave Byproducts: As Sources of Phytochemicals with Functional Activities and Their Management for Industrial Applications. *Food Byproducts Management and Their Utilization* (385-416).
- Krishnadev, P., Subramanian, K., Janaki-Janavi, G., Ganapathy, S., Lakshmanan, A. (2020). Synthesis and Characterization of Nano-fibrillated Cellulose Derived from Green *Agave Americana* L. Fiber. *BioResources*, 15(2), 2442-2458.
- Langhorst, A., Paxton, W., Bollin, S., Frantz, D., Burkholder, J., Kiziltas, A., & Mielewski, D. (2019). Heat-treated blue agave fiber composites. *Composites Part B: Engineering* 165, 712-724.
- Luna-Solis, H. A., Ochoa-Martínez, L. A., González-Herrera, S. M., Rutiaga-Quinones, O. M., & Wong-Paz, J. E. (2024). Extraction of agavins from *Agave durangensis* leaves: Structural, thermal and techno-functional characterization. *Food Bioscience*, 57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103563>
- Márquez-Rangel, I., Cruz, M., Ruiz, H. A., Rodríguez-Jasso, R. M., Loredó, A., & Belmares, R. (2023). Agave waste as a source of prebiotic polymers: Technological applications in food and their beneficial health effect. *Food Bioscience*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103102>
- Martínez-Herrera, R.R., Alemán-Huerta, M.E., Flores-Rodríguez, P., Almaguer-Cantú, V., Valencia-Vázquez, R., Rosas-Flores, W., Medrano-Roldán, H., Ochoa-Martínez, L.A., & Rutiaga-Quinones, O.M. (2021a). Utilization of *Agave durangensis* leaves by *Bacillus cereus* 4N for polyhydroxybutyrate (PHB) biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*. 175. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.167>
- Martínez-Herrera, R.E., Rutiaga-Quinones, O. & Alemán-Huerta, M.E. (2021b). Integration of *Agave* plants into the polyhydroxybutyrate (PHB) production: A gift of the Aztecs to the current bioword. *Industrial Crops & Products*. 174. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114188>
- Moreno-Anguiano, O., Cloutier, A., Rutiaga-Quinones, J. G., Wehenkel, C., Rosales-Serna, R., Rebolledo, P., Hernández-Pacheco, C. E., & Carrillo-Parra, A. (2022). Use of *Agave durangensis* Bagasse Fibers in the Production of Wood-Based Medium Density Fiberboard (MDF). *Forests*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/f13020271>
- Palomo-Briones, R., López-Gutiérrez, I., Islas-Lugo, F., Galindo-Hernández, K. L., Munguía-Aguilar, D., Rincón-Pérez, J. A., Cortés-Carmona, M. Á., Alatríste-Mondragón, F., & Razo-Flores, E. (2017). Agave bagasse biorefinery: processing and perspectives. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(7), 1423-1441. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1421-2>

Paniagua Pérez, G., Sarabia Sereno, Y. L., & Belmonte Izquierdo, Y. (2022). Una segunda vida para los residuos de la industria mezcalera. *Inventio*, 17(43). <https://doi.org/10.30973/inventio/2021.17.43/8>

Perez-Zavala, M. L., Hernandez-Arzaba, J. C., Bideshi, D. K., & Barboza-Corona, J. E. (2020). Agave: a natural renewable resource with multiple applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15), 5324-5333. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10586>

Rodríguez-Félix, E., Contreras-Ramos, S., Davila-Vazquez, G., Rodríguez-Campos, J., & Marín-Marmolejo, E. (2018). Identification and Quantification of Volatile Compounds Found in Vinasses from Two Different Processes of Tequila Production. *Energies*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/en11030490>

Santos-Zea, L., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Benedito, J. (2019). Effect of ultrasound intensification on the supercritical fluid extraction of phytochemicals from Agave *salmiana* bagasse. *The Journal of Supercritical Fluids*, 144, 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.10.013>

Sifuentes-Nieves, I., Yanez Macias, R., Neira Velazquez, G., Velazquez, G., García Hernandez, Z., Gonzalez Morones, P., & Hernandez-Hernandez, E. (2021). Biobased sustainable materials made from starch and plasma/ultrasound modified Agave fibers: Structural and water barrier performance. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193(Pt B), 2374-2381. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.071>

Singh, A., Rodríguez-Jasso, R. M., Saxena, R., Cerda, R. B., Singhania, R. R., & Ruiz, H. A. (2021). Subcritical water pretreatment for agave bagasse fractionation from tequila production and enzymatic susceptibility. *Bioresource Technology*, 338, 125536.

Thamarai-Selvi, S., Sunitha, R., Ammayappan, L., & Prakash, C. (2023). Impact of Chemical Treatment on Surface Modification of Agave Americana Fibers for Composite Application- A Futuristic Approach. *Journal of Natural Fibers*, 20(1), 2142726.

Vera-Romero, I., Hernández-Trujillo, S. L., Farfán-Heredia, B., Briones-Flores, R., & López-Sosa, L. B. (2023). Elemento Constructivo utilizando bagazo de Maguey: Bases para la Sustentabilidad de la Cadena de Valor. 3er Congreso Nacional y 1er Congreso Internacional Oaxaca, México.

Zelaya-Benavidez, E. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., Escamirosa-Tinoco, C., & Morales, I. (2022). Vinazas de mezcal y su efecto biofertilizante en el rendimiento de hortalizas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3). <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3159>

Zelaya-Benavidez, E. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., Robles, C., & Morales, I. (2022). Use of mezcal vinasses to produce methane by co-digestion with bovine manure. *Biotecnica*, 24(2), 53-58.



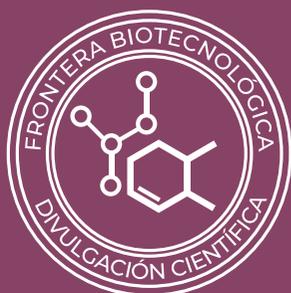
# ¿Flores para el desayuno?

Itzel Palma-Ramos<sup>1</sup>, Nubia Isis Flores-Padilla<sup>1</sup>, Adrián Díaz-Pacheco<sup>1</sup>, Sulem Yali Granados-Balbuena<sup>1</sup>, Erik Ocaranza-Sánchez<sup>2</sup> Silvia Guadalupe Nava-del-Villar\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Tlaxcala del Instituto Politécnico Nacional, Guillermo Valle, Tlaxcala, C.P. 90000, México.

<sup>2</sup> Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla, Km 1.5, Tepetitla de Lardizábal, Guillermo Valle, CP. 90700 Tlaxcala, México.

Autor de correspondencia: snavav@ipn.mx





## RESUMEN

Las flores como aditivos son ingredientes innovadores en la industria alimentaria ya que poseen una composición rica en vitaminas, minerales y antioxidantes. Estas son reconocidas por mejorar el perfil nutricional de los alimentos y ofrecer sabores únicos, además de ser una opción para personas con intolerancias alimentarias. La obtención de harinas a partir de flores, tubérculos e insectos contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas y fomentar un estilo de vida saludable. A pesar de la existencia de harinas comerciales como maíz, trigo y arroz, la incorporación de harinas de flores en alimentos como los cereales de desayuno, puede contribuir al aumento del valor nutricional, potenciar el sabor y aportar antioxidantes. En el presente trabajo se hace una recopilación de información de las principales fuentes de harinas empleadas en la alimentación, así como sus beneficios y nuevas fuentes alternativas.

**Palabras clave:** Nutrición, beneficios, cereal, fibra, harinas, vida saludable.

## ABSTRACT

Flowers as additives are innovative ingredients in the food industry as they are rich in vitamins, minerals and antioxidants. They are recognized for improving the nutritional profile of foods and offering unique flavors, as well as being an option for people with food intolerances. Obtaining flours from flowers, tubers and insects contributes to the prevention of chronic diseases and promotes a healthy lifestyle. Despite the existence of commercial flours such as corn, wheat and rice, the incorporation of flower flours in foods such as breakfast cereals can contribute to increase the nutritional value, enhance flavor and provide antioxidants. This paper compiles information on the main sources of flours used in food, as well as their benefits and new alternative sources.

**Keywords:** Nutrition, benefits, cereal, fiber, flours, healthy life.

## Introducción

La mala alimentación es una de las principales causas de enfermedades, como obesidad, diabetes y problemas cardiovasculares, de igual forma ha sido directamente vinculada al consumo excesivo de alimentos procesados y ultraprocesados [Sosa et al. 2020]. Dentro de estos alimentos, los más consumidos en México incluyen cereales para el desayuno, galletas, sopas instantáneas, embutidos, refrescos, jugos, barras energéticas, comida congelada, yogures y pan empaquetado. Estos productos suelen contener aditivos como conservadores, colorantes artificiales y saborizantes, además de ser altos en calorías, sodio y azúcares, lo que contribuye a problemas de salud como el sobrepeso y la obesidad [Matos et al. 2021]. Los cereales de caja, también conocidos como “cereales de desayuno” son alimentos ultra procesados, ya que contienen azúcares añadidos, carbohidratos refinados y colorantes artificiales. Aunque se promocionan como una opción saludable para el desayuno, su alto contenido de

sodio y azúcar los hace menos saludables. En respuesta a esta problemática, la industria alimentaria ha adoptado una tendencia hacia el fortalecimiento de los cereales. Esta tendencia incluye la adición de minerales esenciales, el uso de colorantes naturales y la fortificación con fibra dietética [Morales et al. 2020]. Para aumentar el contenido de fibra en los cereales, los fabricantes utilizan diversas materias primas como el salvado de trigo, avena, arroz, *psyllium*, granos enteros y antiguos (quinoa y chía), frutas ricas en fibra y otras fuentes vegetales como semillas de lino. No obstante, existen otras fuentes ricas en fibra dietética y nutrientes esenciales como las flores de hibisco, el diente de león y la caléndula [Steven Albán et al. 2018]. Estas fuentes tienen un alto contenido de fibra, compuestos antioxidantes y vitaminas A, C y K. Por lo que, el empleo de fuentes florales puede mejorar el valor nutricional de los cereales de caja.

## Harinas tradicionales

Las harinas se definen como el resultado de la molienda de cereales, legumbres y semillas, constituyendo un alimento esencial en cualquier despensa, ya que son la base de numerosos productos horneados [Hughes et al. 2020]. Según el CODEX [1995] para que un producto se considere harina, al menos el 98% de la misma debe pasar a través de un tamiz No. 70, para obtener un tamaño de partícula de 212 micras. Este criterio asegura que la harina cumpla con el tamaño de partícula adecuado, ya sea para su venta directa al consumidor o para su uso en la elaboración de productos alimenticios, garantizando así su calidad.

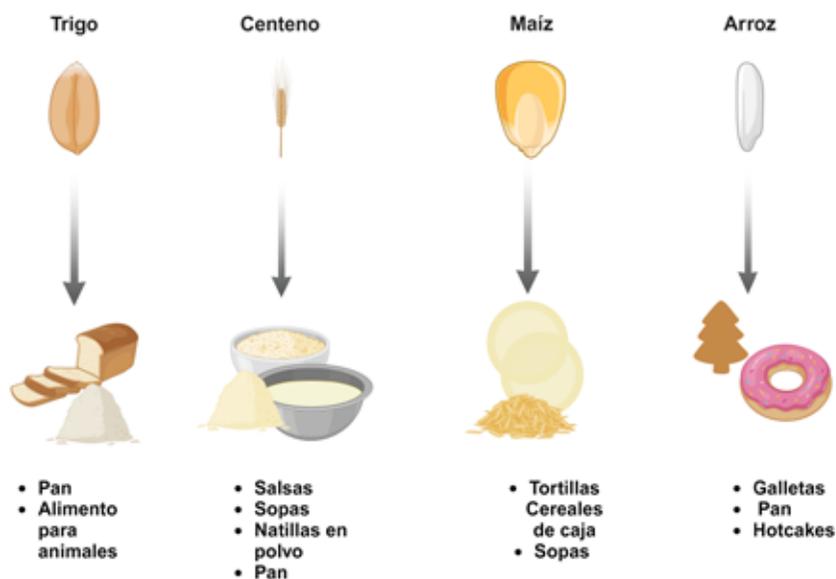
El trigo y el centeno son granos fundamentales en la industria de las harinas, empleados principalmente en la elaboración de pan. El trigo, además



de ser ampliamente consumido en productos panificados, se utiliza como alimento para animales de granja debido a su alto contenido de fibra. Por otro lado, la harina de centeno, producida principalmente en Europa, es el segundo cereal más utilizado a nivel mundial y se usa en la preparación de panes y como espesante en salsas, sopas y natillas en polvo (Cappelli y Cini 2021; Cardoso et al. 2019; Hervert 2022).

El maíz y el arroz también juegan un rol importante en la producción de harinas, aunque en menor medida que el trigo y el centeno. La harina de maíz es fundamental en México, y se utiliza para preparar diversos alimentos básicos como tortillas y cereales de caja. Por otro lado, la harina de arroz es el alimento principal para más de la mitad de la población mundial, siendo consumida principalmente en países en desarrollo, además permite la elaboración de

Figura 1. Granos con mayor relevancia en la industria alimentaria y sus usos



productos como panes, galletas y fideos (Cardoso et al. 2019; Mejía-Terán et al. 2024; Sánchez 2017; Yu et al. 2024).

En 2024, la producción mundial de harinas se caracteriza por la predominancia del trigo y el maíz. Se estima que la harina de trigo representará aproximadamente el 51% de la producción total, con una producción de 798 millones de toneladas a finales del 2024 (IGC 2024). Por otro lado, la harina de maíz y arroz alcanzarán para este mismo año un 28% y 14% de representación, debido a una producción de 1.224 y 528 millones de toneladas respectivamente (FAO 2024). Finalmente, la harina de centeno representará alrededor del 3% de la producción total (World Grain 2024) (Figura 1).



## 3

## Beneficios y daños de los cereales en la dieta

Los cereales están constituidos principalmente por carbohidratos y proteínas. Alrededor del 70-80 % de los cereales son carbohidratos (tanto digeribles como no digeribles), siendo el almidón el principal componente. El segundo macronutriente son las proteínas con un contenido promedio del 6-16 % (Hervert 2022; Aparicio et al. 2022). Además, son una importante fuente de vitaminas del grupo B y los minerales constituyen entre el 1 y el 3% del peso del grano. Los más abundantes son el fósforo, el potasio y magnesio (De la Horra et al., 2012) [tabla 1].

### Componentes nutricionales de harinas naturales

Tipos de Harina	Calorías (100 gr)	Proteínas (g)	Carbohidratos (g)	Grasas (g)	Fibras (g)	Vitaminas, minerales y otros compuestos	Referencias
Harina de Maíz	365	8,47	73,49	4,2	7,3	Vitaminas A, B6, B9. Minerales tales como, hierro y magnesio. Contiene antioxidantes como carotenoides y ácido ferúlico.	[Coral y Gallegos 2015]
Harina de Trigo	364	14,6	76,37	1,5	2,7	Hierro y vitaminas del grupo B (tiamina y niacina)	[Astiz et al. 2023]
Harina de Arroz	366	7	80	1	2	Vitamina B1 y B3. Sin gluten	[Cardoso et al. 2014]
Harina de Avena	389	16,9	66,3	6,9	10,6	Vitaminas B y E. Minerales como hierro, calcio y fósforo. Alta en fibra soluble.	[Flores et al. 2020]
Harina de Centeno	338	9,6	74	1,2	7,8	Vitaminas B1, B2 y B3. Minerales como selenio y magnesio.	[Hernández Pérez et al. 2023]

Con respecto a su consumo, los cereales son un componente fundamental de la dieta en muchas culturas alrededor del mundo, incluyendo países como España, México y varias naciones de América del Sur. Algunos estudios sugieren que una dieta rica en cereales integrales puede reducir el riesgo de diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares como hipertensión, infarto al miocardio, accidentes cerebrovasculares, enfermedades coronarias, obesidad y desordenes gastrointestinales (Aune et al. 2016; Hillian y Minton 2012; Nirmala Prasadi y Joye 2020 [Figura 2].

Por otra parte, la fibra que constituye una parte importante de los cereales ha sido vinculada con efectos positivos en la diversidad y proliferación de la flora intestinal (Da Costa Louzada et al. 2018).

Sin embargo, el gluten, proteína que se encuentra naturalmente en algunos cereales de consumo habitual como el trigo, la cebada, el centeno y la avena ha sido relacionado a una enfermedad autoinmune conocida como celiaquía, en la cual la absorción de éste provoca un daño en el intestino delgado como; inflamación crónica, atrofia de las vellosidades intestinales y daño en la mucosa [Martín et al. 2014].

Según Husby et al. [2012] la sensibilidad al gluten de tipo no celíaca [sin el característico daño al intestino delgado] puede ocasionar reacciones alérgicas principalmente en la piel, tales como; dermatitis y eczemas, así como síntomas extraintestinales, como fatiga y dolores articulares; además, pueden incluir pérdida de peso involuntaria, anemia y problemas de crecimiento en niños [Gil Yubero 2018; Torres Gorriz y Enrique 2021]

Buscar alternativas libres de gluten puede mejorar la digestión y reducir la inflamación en personas con sensibilidad. Además, los cereales sin gluten suelen estar enriquecidos con nutrientes esenciales que benefician la salud.

#### Beneficios para la Salud



**Reducción del riesgo de diabetes tipo 2**  
Ayuda a controlar los niveles de glucosa en sangre y puede prevenir la resistencia a la insulina.



**Prevención de enfermedades cardiovasculares**  
Ricos en fibra soluble, que ayuda a reducir los niveles de colesterol LDL (colesterol "malo") en el cuerpo.



**Mejora de la flora intestinal**  
Favorece una mejor digestión, mejorar la absorción de nutrientes y fortalecer el sistema inmunológico.



Figura 2. Beneficios a la salud del uso de harinas a base de flores comestibles

## 4

### Harinas obtenidas a partir de otras fuentes

En la búsqueda de alimentos más saludables y sostenibles, la industria alimentaria ha explorado diversas fuentes inusuales para la producción de harinas. Estas harinas, obtenidas de ingredientes no convencionales como insectos, tubérculos o semillas pueden aportar de igual manera que un cereal una variedad de nutrientes como proteína, carbohidratos, fibra y almidón. Además, este tipo de harinas puede

representar una solución a la creciente demanda de productos más sostenibles. Algunas de las nuevas fuentes de harinas exploradas en años recientes como tubérculos e insectos; tales como, camote, taro, chapulín y grillo [Figura 3] [Aragón et al. 2018; Dini et al. 2012; De Dios-Avila et al. 2023; Lemus-Moncada et al. 2019].

## 4.1 Tubérculos

En el caso de un tubérculo como el camote, 100 g de harina en base seca, está constituido por un contenido proteico entre 3.54-4.56%, 0.72%-4.90% de azúcares totales, 2.11-2.64% de fibra dietética y 55.80-60.22% de almidón [Vidal et al. 2018]. Por otra parte, su alto contenido de compuestos bioactivos, como ácidos fenólicos, antocianinas, vitaminas, fibra dietética y almidón, confiere al camote propiedades beneficiosas tales como, efectos antiinflamatorios, antioxidantes, antimicrobianos, antidiabéticos, antimutagénicos, antitumorales e hipouricemiantes, además de acciones hepáticas y neuroprotectoras [Rosell et al. 2024].

Las principales aplicaciones de la harina de camote se centran en productos horneados, es decir, panqueques, pasteles, panes, galletas, buñuelos o para reemplazar parcialmente la harina de trigo en la fabricación de pan hasta un 30%. Como existen

diferentes variedades de camotes, en el mercado pueden existir harinas de color amarillo, naranja y morado [Rosell et al. 2024; Armijos et al. 2020].

Por otro lado, otro tubérculo como el taro, posee un contenido de proteína entre el 6.13-7.44%, 3.45-3.90% de fibra, 2.63– 2.93% de cenizas y 72.9-87.80% de almidón por cada 100 g de materia seca [Aboubakar et al. 2008]. Este alimento es bajo en grasas y se ha asociado a la posible reducción de colesterol en la sangre [Aboubakar et al. 2008; Campos y Almeida 2021]. La harina de taro se usa ampliamente como materia prima para hacer diversos productos, incluidos pasteles, pan, galletas, dulces, preparación de masas, salsas o como agente espesante en la cocina. Esta harina tiene una textura fina y un color amarillo a crema y puede sustituir hasta un 50% la harina de trigo [Setiawan y Cahyani 2023; Campos y Almeida 2021].



## 4.2 Insectos

Otra harina no convencional es la proveniente de insectos como el chapulín. Aragón et al. [2018] menciona que 100 g de harina de chapulín (en base seca) aporta 62.97-63.11% de proteína, 10.23-11.36% de fibra cruda, 0.053-0.971% de hierro y 4.176-6.885% de potasio. Por su alto contenido de proteínas, es una excelente fuente para el desarrollo y reparación muscular, ideal para dietas ricas en proteínas. La harina de chapulín es empleada usualmente en snacks como barritas energéticas, galletas, panes y chips sazonadas con harina de chapulín. El color característico que proporciona esta harina es amarillo a café y con la incorporación del 4 % de harina de chapulín, es posible obtener un producto de panificación [López et al. 2023].

Una alternativa diferente de harina es la derivada del insecto *Acheta domesticus* o también llamado grillo doméstico. Zielińska [2022] menciona que 100 g de harina de *Acheta domesticus* contienen 64.93% de proteínas, 4.94% de carbohidratos, 5.1% de cenizas y 18.54% de grasa. En una versión baja en grasas, el contenido proteico aumenta hasta 75.35%, mientras que la grasa se reduce solo 3.43%. También aporta

minerales como hierro, calcio y zinc, que fortalecen los huesos, mejoran la producción de glóbulos rojos y apoyan la función inmunológica [Pilco-Romero et al. 2023].

La harina de grillo se destaca por su excelente capacidad para retener agua, lo cual la hace ideal para productos de panificación como panes, galletas, muffins y pasteles, ya que ayuda a conservar la humedad y mejora la textura. El color que brinda esta harina a los productos panificados es beige y puede reemplazar a la harina de trigo hasta en un 30% [Aguilera et al. 2021].

Sin embargo, las harinas derivadas de insectos y tubérculos están sujetas a la disponibilidad estacional, lo que puede limitar su producción. Este conflicto ha llevado a la búsqueda de alternativas más sostenibles, como la utilización de flores. Esta opción no solo podría reducir la presión de emplear cultivos destinados principalmente a la alimentación, sino también aprovechar recursos que de otro modo serían desechados, promoviendo así un enfoque más equilibrado y ecológico en la producción de harinas.

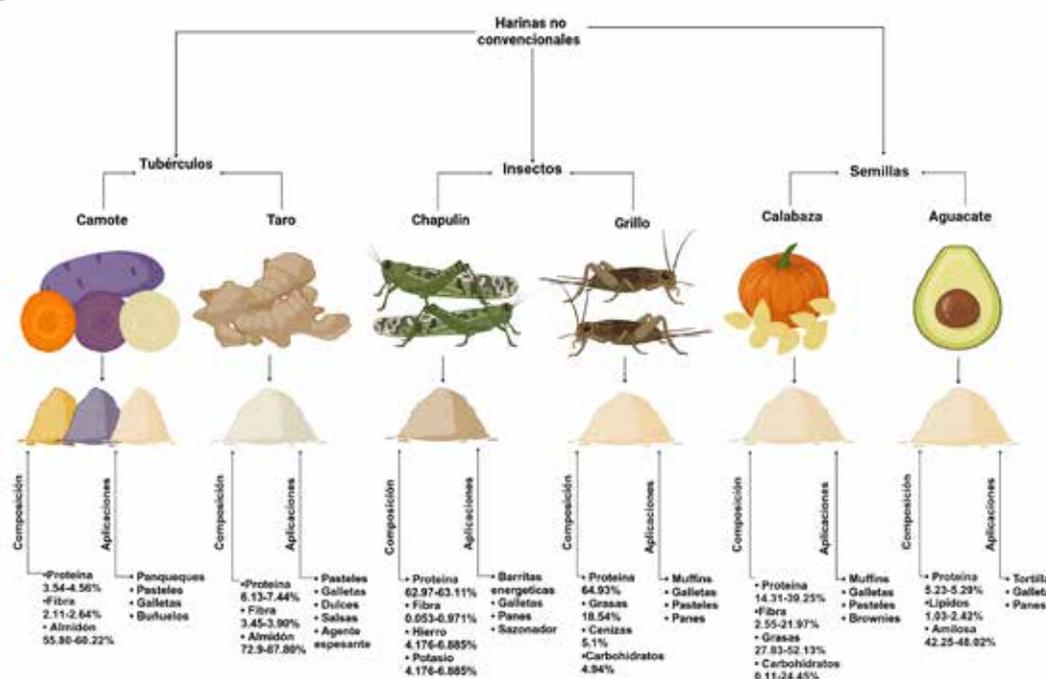


Figura 3. Esquema de tipos de harinas provenientes de tubérculos, insectos y semillas, propiedades nutricionales y sus aplicaciones en la cocina

## 4.3 Semillas

En el caso de las harinas derivadas de semillas, una fuente potencial es la de calabaza (*Cucurbita maxima*), cuyos 100 g de harina en base seca aportan 14.31-39.25% de proteína, 27.83-52.13% de grasa, 2.552-1.97% de fibra cruda y 0.11-24.45% de carbohidratos. La harina de semilla de calabaza es rica en ácidos grasos insaturados, fitoesteroles y tocoferoles, proporcionando propiedades antioxidantes, antiparasitarias, antiinflamatorias y beneficios cardiovasculares. Esta harina proporciona un color crema o marrón claro a los alimentos, en productos de panificación como muffins, galletas, pasteles y brownies, se ha empleado la harina de semilla de calabaza como sustituto de hasta un 33% de la harina de trigo mejorando el valor nutricional. (Lemus-Mondaca et al. 2019).

Por otro lado, la harina a partir de semillas de aguacate de las variedades Hass y criollo, puede contener 5.23-5.29% de proteína, 1.03-2.42% de lípidos y 42.25-48.02% de amilosa, lo cual le confiere propiedades funcionales de espesamiento y gelificación. La harina de semilla de aguacate es de un tono beige a marrón claro y puede sustituir hasta un 25% de la harina de trigo en productos como tortillas, panes y galletas, donde aporta una textura densa y ayuda en la retención de humedad, además de agregar un valor antioxidante (De Dios-Avila et al. 2022)

## 5

### Harinas obtenidas a partir de flores

La tendencia creciente bajo la demanda de los consumidores por opciones más saludables y responsables llevó a la obtención de harinas a partir de flores ya que representan una opción alimentaria innovadora que puede mejorar el perfil nutricional de varios productos. Estas harinas son ricas en vitaminas, minerales y antioxidantes que pueden beneficiar a la salud en general y ayudar a prevenir enfermedades crónicas. Además, al maximizar el uso de recursos naturales y reducir el desperdicio alimentario, puede promover la sostenibilidad. Algunas flores que han sido exploradas como fuente potencial de harina son la flor de hibisco, diente de león y la caléndula.

#### 5.1 Propiedades Alimenticias de la Harina de Hibisco

Las flores secas de la planta *Hibiscus sabdariffa* son empleadas para producir harina de hibisco (Janarny et al. 2022). Esta harina posee un contenido de 5.64% grasas, 10.04% proteínas y 36.48-38.9% de carbohidratos y un alto contenido de fibra del 45%. Además, es rica en antioxidantes, especialmente de antocianinas, que son responsables de su intenso color rojo. Se ha demostrado que la harina de hibisco reduce la presión arterial, mejorar la salud cardiovascular y posee propiedades antiinflamatorias (Steven Albán et al. 2018). Este tipo de harina usualmente es empleada en productos de panificación como galletas, tortillas, panes y barras energéticas donde se ha reportado su uso para mejorar el valor nutricional y el color (Mata-Ramírez et al. 2018; Nyam et al. 2014)



## 5.2 Beneficios nutricionales de la harina de flor de diente de león

Fan et al. [2023] señala que la harina a partir de diente de león es una fuente rica en vitaminas A, C y K, así como los minerales hierro, calcio y potasio. Además, su contenido de proteínas alrededor de 13.90% y compuestos antioxidantes como los flavonoides y los ácidos fenólicos la convierte en una excelente fuente de nutrientes para la dieta [Janarny et al. 2022]. Finalmente, se ha sugerido que el consumo de esta harina tanto en batidos y suplementos nutricionales mejoran la salud del hígado y apoyan el sistema inmunitario [Steven Albán et al. 2018].

## 5.3 Aspectos nutricionales y aplicaciones de la harina de flor de caléndula

Arora et al. [2013] indica que la harina de caléndula, elaborada con flores secas de *Calendula officinalis*, posee una alta concentración de vitaminas A, C y E, además de los minerales de calcio y magnesio. Adicionalmente, Kazmierski et al. [2022] informa que su proporción de proteína oscila en un 3.5-4.5% y los compuestos antioxidantes como los carotenoides y los fenólicos la hacen una potencial fuente de nutrientes para la alimentación. Finalmente, Arora et al. [2023] y Lima Framnze et al. [2019] mencionan que la ingesta de esta harina puede potenciar la salud digestiva y respaldar al sistema inmunológico. Por otro lado, esta harina ha sido empleada en productos como galletas, pasteles e infusiones. [Mata-Ramírez et al. 2018]

Incorporar flores al desayuno en lugar de harinas convencionales podría ayudar a enriquecer los alimentos con nutrientes y antioxidantes que las convencionales no poseen, mejorando su perfil nutricional y por ende brindar más beneficios a la salud. Además, esta práctica podría fomentar la diversidad en la dieta y la sostenibilidad alimentaria [Carmelo-Méndez et al. 2017]

# 6

## Conclusión

La incorporación de harinas obtenidas de flores en la industria alimentaria representa un avance crucial hacia una alimentación más equilibrada y responsable. Estas harinas, ricas en antioxidantes, vitaminas y minerales, no solo mejoran el perfil nutricional de los productos, sino que también ofrecen alternativas innovadoras y comprometidas al uso de cereales tradicionales. El uso de harinas de flores como hibisco, diente de león y caléndula puede fomentar una producción alimentaria más consciente, maximizando los recursos naturales y reduciendo el desperdicio.

# 7

## Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento otorgado al proyecto 2024-A104 de la convocatoria Proyecto Innovación Alumnos 2024.



# REFERENCIAS

- Aboubakar, Njintang Y N, Scher J, Mbofung C M F (2008) Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches. *Journal of Food Engineering*, 86(2). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.006>
- Aguilera Y, Pastrana I, Rebollo-Hernanz M, Benitez V, Álvarez-Rivera G, Viejo J L, & Martín-Cabrejas M A (2021) Investigating edible insects as a sustainable food source: Nutritional value and techno-functional and physiological properties. *Food and Function*, 12(14), 6309–6322. <https://doi.org/10.1039/d0fo03291c>
- Alvis A, Pérez L, Arrazola G (2011) Elaboración de Panes con Agregado de Harina de Arroz Integral y Modelación de sus Atributos Sensoriales a Través de la Metodología de Superficie de Respuesta. *Información Tecnológica*, 22(5). <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000500005>
- Aparicio A, Salas-González M D, Lorenzo-Mora A M, Bermejo L M, Aparicio A, Salas-González M D, Lorenzo-Mora A M, & Bermejo L M (2022) Beneficios nutricionales y sanitarios de los cereales de grano completo. *Nutrición Hospitalaria*, 39(SPE3). <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.20960/nh.04301>
- Aragón A, Rodríguez D, Pino-Moreno J, Aragón M, Carlos S, & García A (2018) Valor nutritivo de la harina del chapulín *Sphenarium purpurascens* Charpentier, 1845 [Orthoptera: Pyrgomorphidae] tostado y natural. *Entomología Mexicana*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1746833>
- Arora D, Rani A, & Sharma A (2013) A review on phytochemistry and ethnopharmacological aspects of genus *Calendula*. In *Pharmacognosy Reviews* [Vol. 7, Issue 14]. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.120520>
- Astiz V, Salinas M V, & Puppo M C (2023) Propiedades físicoquímicas de harinas de trigo y avena de alta calidad panadera. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 12(2). <https://doi.org/10.24215/16699513e113>
- Aune D, Keum N, Giovannucci E, Fadnes L T, Boffetta P, Greenwood D C, Tonstad S, Vatten L J, Riboli E & Norat T (2016) Whole grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: Systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *BMJ (Online)*, 353. <https://doi.org/10.1136/bmj.i2716>
- Campos B V P, & Almeida E L (2021) Gluten-free pasta elaborated with taro flour (*Colocasia esculenta*): a study of the employ of egg white and transglutaminase on the technological properties. *Research, Society and Development*, 10(1), e52710111454. <https://doi.org/10.33448/RSD-V10I1.11454>
- Camelo-Méndez G A, Flores-Silva P C, Agama-Acevedo E, & Bello-Pérez L A (2017) Multivariable Analysis of Gluten-Free Pasta Elaborated with Non-Conventional Flours Based on the Phenolic Profile, Antioxidant Capacity and Color. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(4). <https://doi.org/10.1007/s11310-017-0639-9>
- Cappelli A, & Cini E (2021) Challenges and opportunities in wheat flour, pasta, bread, and bakery product production chains: A systematic review of innovations and improvement strategies to increase sustainability, productivity, and product quality. In *Sustainability (Switzerland)* [Vol. 13, Issue 5]. <https://doi.org/10.3390/su13052608>
- Cardoso F F, Ascheri D P R, & Carvalho C W P de (2014) Propiedades reológicas y de adsorción de agua de harina extrudida de arroz y bagazo de cebada. *Revista Ceres*, 61(3). <https://doi.org/10.1590/s0034-737x2014000300003>
- Cardoso R V C, Fernandes Â, González-Paramás A M, Barros L, & Ferreira I C F R (2019) Flour fortification for nutritional and health improvement: A review. *Food Research International*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108576>
- CODEX (1995) Norma del Codex para la harina de sorgo [en línea]. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 173–1989. Disponible en [www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/en/](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/en/) [fecha de revisión 9 de septiembre de 2007].
- Coral T V, & Gallegos G, R (2015) Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de harina de maíz, harina de trigo integral, avena, yuca, zanahoria amarilla, zanahoria blanca y chocho. *InfoANALÍTICA*, 3(1). <https://doi.org/10.26807/ia.v3i1.17>
- Da Costa Louzada M L, Ricardo C Z, Steele E M, Levy R B, Cannon G, & Monteiro C A (2018) The share of ultra-processed foods determines the overall nutritional quality of diets in Brazil. *Public Health Nutrition*, 21(1). <https://doi.org/10.1017/S1368890017001434>
- De Dios-Avila N, Tirado-Gallegos J M, Rios-Velasco C, Esquivel G L, Virgen M O E, & Campos O J C (2023) Compositional, structural and physicochemical properties of avocado seeds and their potential agro-industrial uses. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 24(1). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol24\\_num1\\_art:2607](https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2607)
- De la Horra A E, Seghezze M L, Molfese E, Ribotta P D, & León A E (2012) Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *AgriScientia*, 29(2). <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v29.n2.3886>
- De Lima Franzen F, Rodrigues de Oliveira M S, Lidório H F, Farias Menegaes J, & Martins Fries L L (2019) Transformación y agroindustria. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol20num1art:1252>
- Dini C, García M A, & Viña S Z (2012) Non-traditional flours: Frontiers between ancestral heritage and innovation. In *Food and Function* [Vol. 3, Issue 6]. <https://doi.org/10.1039/c2fo30036b>
- Fan M, Zhang X, Song H, & Zhang Y (2023) Dandelion [*Taraxacum* Genus]: A Review of Chemical Constituents and Pharmacological Effects. In *Molecules* [Vol. 28, Issue 13]. Multidisciplinary Digital Publishing Institute [MDPI]. <https://doi.org/10.3390/molecules28135022>
- Flores F Lozano F, Ramos A, Salgado R, Guerrero V, Ramírez S, Bello L, & Zamudio P (2020) Caracterización físicoquímica, reológica y funcional de harina de avena Bachíniva Cuaauhtémoc, Chihuahua. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 8(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.54167/tch.v8i3.611>
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2024) Cereal Supply and Demand Brief [online]. FAO. Available from <https://www.fao.org> [fecha de revisión 2 Noviembre 2024].
- Gil Yubero J (2018). Intolerancia al gluten. Dieta y consejos prácticos. *FMC - Formación Médica Continuada En Atención Primaria*, 25(3). <https://doi.org/10.1016/j.fmc.2017.09.005>
- Hernández Pérez, P. J., Reyero Herrera, A., & Córdova Aguilar, M. S. (2023). Desarrollo de un producto de panificación con harinas de leguminosas y cereales complementado con trúb. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1). <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.90>
- Hervert Hernández D (2022) The role of cereals in nutrition and health for a sustainable diet. *Nutrición Hospitalaria*, 39(Ext3). <https://doi.org/10.20960/NH.04312>
- Hillan J, & Minton E (2012) Healthy Eating: Salad Suggestions. *EDIS*, 2012(5). <https://doi.org/10.32473/edis-fy702-2012>
- Hughes J, Vaiciurgis V, & Grafenauer S (2020) Flour for home baking: A cross-sectional analysis of supermarket products emphasising the whole grain opportunity. *Nutrients*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/nu12072058>
- Husby S, Koletzko S, Korponay-Szabó I R, Mearin M L, Phillips A, Shamir R, Troncone R, Giersiepen

- K, Branski D, Catassi C, Leggeman M, Mäki M, Ribes-Koninckx C, Ventura A, & Zimmer K P (2012) European society for pediatric gastroenterology, hepatology, and nutrition guidelines for the diagnosis of coeliac disease. In *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* [Vol. 54, Issue 1]. <https://doi.org/10.1097/MPG.0b013e31821a23d0>
- International Grains Council (IGC) (2024) Global grain outlook: Looking ahead to 2024 and beyond [online]. IGC. Available from <https://www.igc.int> [fecha de revisión 19 Septiembre 2024].
- Janary G, Ranaweera K K D S, & Gunathilake K D P P (2022) Digestive recovery of polyphenols, antioxidant activity, and anti-inflammatory activity of selected edible flowers from the family Fabaceae. *Journal of Food Biochemistry*, 46(2). <https://doi.org/10.1111/jfbc.14052>
- Kazmierski D, Sharma N, Wang Y, & Ochieng P (2020). A RARE TRIGGER OF ASTHMA EXACERBATION: THE SCOTCH MARIGOLD. *Chest*, 158(4). <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.08.089>
- Lemus-Mondaca R, Marin J, Rivas J, Sanhueza L, Soto Y, Vera N, & Puente-Díaz L (2019) Pumpkin seeds (*Cucurbita maxima*) a review of functional attributes and by-products. In *Revista Chilena de Nutrición* (Vol. 46, Issue 6). <https://doi.org/10.4067/S0717-75182019000600783>
- López-Jaime A, Martínez-Acosta R, & Ubaldo-Aguilar M (2023) CHAPULIN, UNA ALTERNATIVA ALIMENTICIA CON UNA GRAN FUENTE DE PROTEINA: ENTOMOFAGIA COMO SUPLEMENTO ALIMENTO Y SU IMPACTO EN LA DIETA DIARIA. *RD-ICUAP*, 27, 1–12. <https://doi.org/10.32399/ICUAP.RDIC.2448-5829.2023.27.1170>
- Martín I S M, Vilar E G, Yurrutia L C, & Cabañas M J C (2014) ¿Es el gluten el gran agente etiopatogénico de enfermedad en el siglo XXI? *Nutrición Hospitalaria*, 30(6). <https://doi.org/10.3305/nh.2014.30.6.7866>
- Mata-Ramírez D, Serna-Saldivar S O, Villela-Castrejón J, Villaseñor-Durán M C, & Buitimea-Cantúa N E (2018) Phytochemical profiles, dietary fiber and baking performance of wheat bread formulations supplemented with Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4). <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9883-4>
- Matos R A, Adams M, & Sabaté J (2021) Review: The Consumption of Ultra-Processed Foods and Non-communicable Diseases in Latin America. *Frontiers In Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.622714>
- Mejía-Terán A, Blanco-Lizarazo C M, Leiva Mateus E, & Sotelo-Díaz I (2024) Techno-functional and physicochemical properties of corn flours as potential food ingredients. *Applied Food Research*, 4(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100427>
- Morales F J, Mesías M, & Delgado-Andrade, C (2020) Association between Heat-Induced Chemical Markers and Ultra-Processed Foods: A Case Study on Breakfast Cereals. *Nutrients*, 12(5), 1418. <https://doi.org/10.3390/nu12051418>
- Nirmala Prasadi V P, & Joye I J (2020) Dietary fibre from whole grains and their benefits on metabolic health. In *Nutrients* (Vol. 12, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/nu12103045>
- Nyam K L, Leao S Y, Tan C P, & Long K (2014) Functional properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seed and its application as bakery product. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12). <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0902-x>
- Pilco-Romero G, Chisaguano-Tonato A M, Herrera-Fontana M E, Chimbo-Gándara L F, Sharifi-Rad M, Giampieri F, Battino M, Vernaza M G, & Álvarez-Suárez J M (2023) House cricket (*Acheta domestica*): A review based on its nutritional composition, quality, and potential uses in the food industry. In *Trends in Food Science and Technology* [Vol. 142]. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104226>
- Quimis O, Reyna K, Lainez S, & Flores L (2020) ACCEPTABILITY OF BISCUITS WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS OF FLOWERS FROM QUINOA, BANANA AND OAT AND DIFFERENT LEVELS OF SWEETENERS Información del artículo. *Revista Espam Ciencia Para El Agro*, 1(1). [https://doi.org/https://doi.org/10.51260/revista\\_espamciencia.v1i1i1.187](https://doi.org/https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v1i1i1.187)
- Robles-Bermúdez A, Robles-Bermúdez G F, Rodríguez-Maciél J C, Santillán-Ortega C, Lagunes-Tejeda Á, Flores-Canales R J, & Cambero Campos J O (2018) Resistencia de cuatro poblaciones del acaro (*Tetranychus urticae* Koch.) a propargite en rosa de corte (*Rosa x hybrida*) en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4). <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i4.1431>
- Rodrigues A A T, Meiado M V, & Soares S M N de A (2022) Divulgação científica nas escolas: a importância da polinização das flores na agricultura. *Paubrasilia*, 5. <https://doi.org/10.33447/paubrasilia.2022.e0084>
- Rosell M de los Á, Quizhpe J, Ayuso P, Peñalver R, & Nieto G (2024) Proximate Composition, Health Benefits, and Food Applications in Bakery Products of Purple-Fleshed Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) and Its By-Products: A Comprehensive Review. In *Antioxidants* (Vol. 13, Issue 8). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/antiox13080954>
- Rosentrater K A, & Evers, A D (2018) Flour treatments, applications, quality, storage and transport. In *Kent's Technology of Cereals*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100529-3.00007-4>
- Sánchez G V (2017) El mercado de harina de maíz en México. Una interpretación microeconómica. *Economía Informa*, 405. <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2017.07.001>
- Sandberg J C, Björck I M E, & Nilsson A C (2017) Effects of whole grain rye, with and without resistant starch type 2 supplementation, on glucose tolerance, gut hormones, inflammation and appetite regulation in an 11-14.5 hour perspective; a randomized controlled study in healthy subjects. *Nutrition Journal*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12937-017-0246-5>
- Setiawan B H, & Cahyani D A (2023) EFFECT OF VARIETY AND FERMENTATION ON TARO FLOUR PROXIMATE. *Agripreneur Jurnal Pertanian Agribisnis*, 12(2), 15–22. <https://doi.org/10.35335/AGRIPRENEUR.V12I2.4553>
- Skendi A, Zinoviadou K G, Papageorgiou M, & Rocha J M (2020) Advances on the valorisation and functionalization of by-products and wastes from cereal-based processing industry. In *Foods* (Vol. 9, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/foods9091243>
- Sosa M F M, Barrales A M G, & García N A V (2020) Perspectivas e impacto en la salud del consumo de los alimentos funcionales y nutraceuticos en México. *Deleted Journal*, 16, 1-23. <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2020.16.264>
- Steven Albán M, Echavarría A P, & Domínguez L D (2018) *Composición Nutricional Y Propiedades Funcionales De Flores Comestibles Nutritional Composition And Functional Properties Of Edible Flowers*. 30, 498–507.
- Torres Gorrioz M C, & Enrique E (2021) La alergia a cereales, legumbres y frutos secos. *El Libro de Las Enfermedades Alérgicas ISBN 978-84-92937-83-7, pp 265-274*.
- Vidal A R, Zaucedo-Zuñiga A L, & Ramos-García M D L (2018) Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas* L.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2)
- World Grain (2024) IGC forecasts record grain output, demand [online]. World Grain. Available from <https://www.world-grain.com> [fecha de revisión 19 Septiembre 2024].
- Yu T, Jing S, Jiaxin L, Aixia W, Mengzi N, Xue G, Lili W, Liya L, Fengzhong W, & Litao T (2024) Effects of Milling Methods on Rice Flour Properties and Rice Product Quality: A Review. *Rice Science*, 31(1), 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.RSCI.2023.11.002>
- Zielińska E (2022) Evaluating the Functional Characteristics of Certain Insect Flours (Non-Defatted/Defatted Flour) and Their Protein Preparations. *Molecules*, 27(19). <https://doi.org/10.3390/molecules27196339>





# PIGMENTOS AMARILLOS A PARTIR DE FLORES COMO ALTERNATIVA FRENTE A COLORANTES SINTÉTICOS

Beatriz Pérez-Camacho<sup>1</sup>, Arantza Sánchez-Orantes<sup>1</sup>,  
Adrián Díaz-Pacheco<sup>1</sup>, Erik Ocaranza Sánchez<sup>2</sup>, Lilia Tapia  
López<sup>2</sup>, Sulem Yali Granados-Balbuena<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional, Unidad profesional de Ingeniería Campus  
Tlaxcala, CP 90000, Guillermo Valle, Tlaxcala, México.

<sup>2</sup> Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología  
Aplicada, Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla, Km 1.5,  
Tepetitla de Lardizábal, Guillermo Valle, CP. 90700 Tlaxcala, México.

Autor de correspondencia: [sgranadosb@ipn.mx](mailto:sgranadosb@ipn.mx)



## RESUMEN

Los colorantes aditivos desempeñan un papel crucial en la industria alimentaria. En este ámbito, se emplean pigmentos de tonalidades rojas, azules y amarillas, destacando el amarillo como el más prevalente por su versatilidad en diversas aplicaciones. No obstante, ciertos colorantes sintéticos, como el amarillo 5, amarillo 6, amarillo 2G y amarillo de quinolina, han sido vinculados a posibles riesgos para la salud. Por consiguiente, resulta fundamental investigar y desarrollar pigmentos derivados de fuentes naturales que puedan reemplazar a los amarillos sintéticos y que, además de proporcionar color brinden beneficios nutricionales. Los carotenoides y flavonoides son compuestos que brindan colores amarillo-naranja, y en algunos casos a pesar de ser de diferentes familias, ambos son de origen natural. En la naturaleza existen diversas fuentes que proporcionan carotenoides, tales como frutas y vegetales. Sin embargo, existen diversas fuentes de pigmentos naturales que, aunque menos reconocidas, incluyen flores como el cempasúchil, la caléndula, el ipê-amarelo y la dahlia, las cuales se abordan en la presente revisión. Adicionalmente, se describen aspectos como la importancia de los colorantes en el sector alimentario, los carotenoides y sus aplicaciones en alimentos, y el uso de colorantes florales como una alternativa a los colorantes sintéticos.

**Palabras clave:** Colorante natural, Carotenoides, Alimentos, plantas florales.

## ABSTRACT

Additive colorants play a fundamental role in the food industry. In this context, pigments of red, blue, and yellow hues are used, with yellow being the most prevalent due to its versatility in various applications. However, certain synthetic colorants such as Yellow 5, Yellow 6, Yellow 2G, and Quinoline Yellow have been associated with potential health risks. Therefore, scientific research and the development of pigments derived from natural sources that can replace synthetic ones while providing health benefits are pivotal. Carotenoids and flavonoids are compounds that provide yellow-orange colors, and in some cases, both are natural origin despite belonging to different families. In nature, there are various sources of carotenoids, such as fruits and vegetables. Nevertheless, there are also lesser-known sources of natural pigments, including flowers like marigold, calendula, ipê-amarelo, and dahlia, which are addressed in this review. Additionally, aspects such as the importance of colorants in the food sector, carotenoids and their applications in food, and the use of floral colorants as an alternative to synthetic colorants are discussed..

**Keywords:** Natural dyes, Carotenoids, Edibles, Flowering plants.

## Introducción

El análisis sensorial es fundamental en la industria alimentaria para evaluar la satisfacción del cliente sobre un producto. La excelencia del producto es evaluada mediante pruebas que evalúan el aroma, sensación, y apariencia de un alimento [Renita et al. 2023]. El aspecto, determinado por el color, es un factor influyente en la percepción del consumidor, donde los colorantes juegan un papel significativo [Vega et al. 2023]. En la industria alimentaria, los colores primarios, como rojo, azul y amarillo son usados para emular diferentes tonalidades y texturas. El amarillo, producido a partir de fuentes naturales o sintéticas, es el más relevante, asociado con sentimientos de alegría y optimismo [Carabet et al. 2020].

Los pigmentos amarillos se derivan de múltiples fuentes, incluyendo curcumina de *Curcuma longa*, flavonol-quercetinas de frutas cítricas y col, carotenos de la zanahoria, pimiento amarillo y espinaca. De igual manera, es posible adquirir pigmentos amarillos a partir de pétalos de algunas flores tales como la flor de cempasúchil o la flor de caléndula [Martínez et al. 2023].

Este artículo, analiza la importancia del color amarillo en la industria alimentaria, así como la forma en que se han usado los pigmentos naturales y sintéticos y las distintas procedencias de estos pigmentos.

## COLORANTES SINTÉTICOS: Color amarillo y su importancia en alimentos

Actualmente, las empresas usan colorantes para crear productos más atractivos. Industrias como la de alimentos, textiles, cosméticos y farmacéutica sobresalen en su aplicación [Affat 2021].

Durante el ciclo de producción de los alimentos, puede producirse una pérdida de color debido a factores como los cambios de temperatura y pH, la pérdida de humedad o el uso de aditivos. Se añade una amplia gama de colorantes para mejorar la presentación del producto y mantener el aspecto original perdido durante la fabricación [Brudzyńska et al. 2021].

Las compañías del sector alimenticio se inclinan al uso de colorantes artificiales, sintetizados a partir de subproductos del petróleo y minerales, ya que son químicamente estables, inertes a la degradación física y biológica y rentables [Ardila et al. 2021].

En la mayoría de los casos, la estructura química de los colorantes sintéticos se caracteriza por la presencia de anillos quinonoides, un tipo de cromóforo. Un ejemplo de colorante con anillos quinonoides es el amarillo 5 o tartracina, el cual suele ser empleado en productos de repostería, dulces, helados, cereales y bebidas, no obstante, desde 1959 se descubrió que este colorante causaba urticaria, así como cambios en el comportamiento de infantes, lo que llevó a su prohibición en naciones como Noruega o Gran Bretaña [Belmonte et al. 2016].

El amarillo 6, también conocido como amarillo crepúsculo, es otro pigmento que se utiliza como aditivo en comestibles. Sin embargo, algunos estudios indican que el consumo excesivo provoca efectos alérgicos a medicamentos como la aspirina o síntomas como erupciones cutáneas, angioedema, problemas gástricos y asma [Deepika et al. 2017]. Por

otro lado, en la industria de alimentos, el colorante amarillo 2G (Y2G) era uno de los pigmentos de preferencia. Se usaba ampliamente en la producción de bebidas alcohólicas, dulces y sopas instantáneas, sin embargo, fue considerado una amenaza para los consumidores, debido a sus propiedades carcinógenas, por lo que se prohibió su uso [Karabörk et al. 2023].

En los últimos años, las investigaciones se han dedicado a mejorar los métodos de extracción o encontrar nuevas variedades de colorantes, que sean de origen natural y no perjudiquen al cliente final.

## 2.1 Colorantes naturales

Los colorantes naturales, derivados de plantas, microorganismos o animales, se utilizan en diversos productos como cosméticos, textiles y alimentos [Thakur et al. 2024]. Los pigmentos naturales comunes son los polifenoles, los n-heterocíclicos y los carotenoides, ricos en antioxidantes [Brudzyńska et al. 2021].

Los polifenoles, compuestos de grupos fenólicos, son altamente antioxidantes debido a la presencia de pigmentos naturales como antocianinas, flavonol-quercetina y curcuminoides [Brudzyńska et al. 2021]. Las antocianinas son flavonoides con una estructura química de dos anillos unidos a tres átomos de carbono, que absorben a una longitud de onda de 600 nm a un pH ácido. Dan colores rojos, amarillos y azules en frutas como las bayas, las especias, las hierbas y el vino tintado [Oliveira et al. 2020]. El flavonol-quercetina son pigmentos amarillos que absorben a 368 nm, confiriendo color a alimentos como el brócoli, los cítricos y la col rizada [Mahmud et al. 2023]. Los curcuminoides absorben a una longitud de onda de 435 nm y están formados por dos unidades de feruloil unidas por un puente de metano. Además, su principal fuente de obtención es la planta herbácea conocida como *C. longa* [Basu et al. 2021].

Los compuestos N-heterocíclicos son compuestos cíclicos con al menos un heteroátomo (oxígeno, azufre o nitrógeno) como componente [Wang et al. 2018], siendo las betalainas y los índigoides los más comunes con esta estructura. Las betalainas son pigmentos hidrosolubles con un núcleo betalámico, un derivado del ciclo de la DOPA, se encuentran en vegetales como la remolacha y la col, dando colores rojos y amarillos [Sadowska y Bartosz 2021], mientras que los índigoides tienen un núcleo bicíclico, compuesto por un anillo bencénico fusionado con un anillo pirrol, responsable del color azul en plantas como el añil y el glasto [Núñez et al. 2022].

Finalmente, los carotenoides forman una categoría de pigmentos que posee una cadena de cuarenta carbonos conjugados, los cuales contienen dos anillos  $\beta$ -ionona en cada extremo. Estos son representativos de colores cálidos como el amarillo, naranja y rojo [Thakur et al. 2024].



## 2.2 Carotenoides y su aplicación en alimentos

Los carotenoides se derivan de una variedad de fuentes, incluyendo frutas tales como la zanahoria (*Daucus carota*) y el mango (*Mangifera indica*), así como verduras como el pimiento amarillo (*Capsicum annuum*) y la espinaca (*Spinacia oleracea*) [Rodríguez et al. 2023]. A lo largo del tiempo, las plantas se han adaptado a su entorno para asegurar su supervivencia. Con este propósito, estas han desarrollado metabolitos que cumplan funciones de señalización visual u olfativa [Figura 1] [Wong et al. 2023].

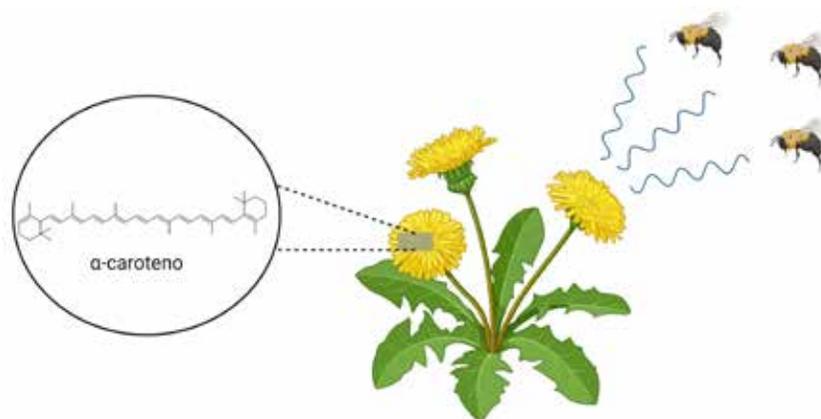


Figura 1. Pigmentos naturales y su entorno.

Asimismo, los carotenoides representan un conjunto de pigmentos lipófilos naturales [Kumar et al. 2021]. Estructuralmente son compuestos isoprenoides, que se caracterizan por ser biosintetizados a través de un enlace cola-cola de 2 unidades de 20 carbonos, formando moléculas de geranylgeranyl difosfato, precursor de los carotenoides [Figura 2] [Britton 2022].

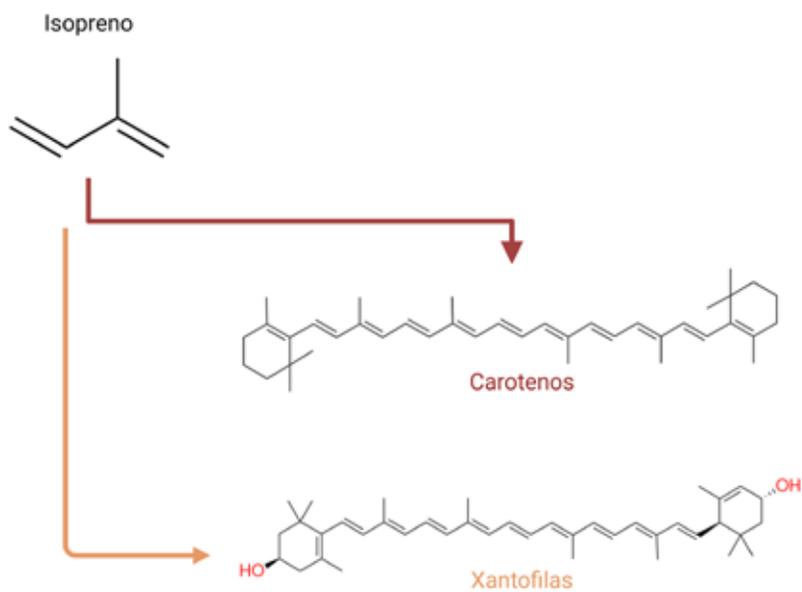


Figura 2. Estructura base de los carotenoides.

Según su estructura, se pueden subdividir en dos grupos: carotenos y xantofilas oxigenadas. Los carotenos están formados por un anillo de hidrocarburo cíclico, como el  $\alpha$ -caroteno y el  $\beta$ -caroteno. Por otro lado, las xantofilas, son carotenos oxigenados con grupos hidroxilo, epóxido o cetona. Algunos ejemplos son la zeaxantina, la violaxantina y la luteína [Figura 3] [Simkin 2021].

Hasta la fecha, se conocen 1200 pigmentos naturales de carotenoides sintetizados por plantas, algas, bacterias fotosintéticas y hongos [Polyakov et al. 2023]. En este contexto, hay un creciente interés en obtener carotenoides y pigmentos amarillos de flores, como en estudios sobre la flor de Cempasúchil, que presentan una alta acumulación de estos compuestos [Martínez et al. 2023].

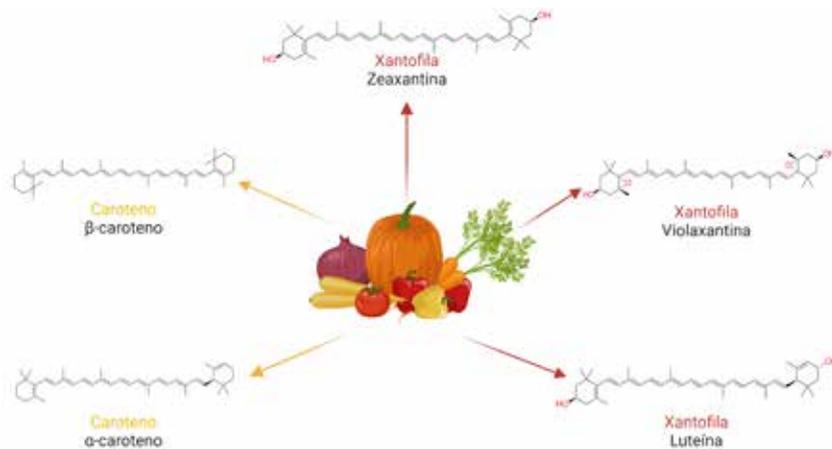


Figura 3. Clasificación de carotenoides.

## 2.3 Flores como fuentes de carotenoides

Los carotenoides, aunque comúnmente se asocian con frutas y verduras, también se encuentran presentes en las flores, tales como el cempasúchil [*Tagetes erecta*], la caléndula [*Caléndula officinalis*], el ipê-amarelo [*Tabebuia aurea*] y la flor de dahlia [*Dahlia* spp.] [Figura 4] [Mapelli et al. 2023].

Las aplicaciones de colorantes derivados de estas fuentes varían en función del espécimen; no obstante, en términos generales, su uso en la industria incluye: la mejora estética de yogures, quesos y helados; la intensificación del color en bebidas y alimentos procesados como alternativa a los colorantes sintéticos [Martínez et al. 2023].

La flor de cempasúchil [*T. erecta*] está constituida de carotenoides como la luteína y la zeaxantina, las cuales son responsables del color amarillo anaranjado de las flores. Su extracto aplica desde su uso en el alimento aviar para intensificar el tono de la yema de huevo, hasta su empleo en productos alimenticios como colorante natural, mejorando la apariencia y el valor alimentario [Martínez et al. 2023].



Figura 4. Flores como fuente de carotenoides.

La caléndula (*C. officinalis*) contiene varios carotenoides, siendo los más destacados la luteína, zeaxantina, y  $\beta$ -caroteno, los cuales aportan beneficios como la reducción del riesgo de degeneración macular, y su actividad antioxidante. En la industria alimentaria, su aplicación se centra en resaltar la tonalidad en lácteos [Olennikov y Kashchenko 2022].

El ipê-amarelo o *T. aurea*, contiene carotenoides como la luteína y la zeaxantina, las cuales son responsables del color amarillo vibrante de las flores. Esta flor se considera una alternativa idónea para la coloración de alimentos destinados a bebés, dado su origen natural y sus propiedades beneficiosas. Asimismo, su pigmento amarillo vibrante resulta particularmente adecuado para realzar la presentación de galletas y postres, aportando un atractivo visual sin recurrir a colorantes sintéticos [Rahman et al. 2015].

Finalmente, la dahlia, perteneciente al género *Dahlia* spp, contiene carotenoides, entre ellos: el  $\beta$ -caroteno, la luteína y la zeaxantina. Aunque no son comúnmente utilizadas como fuente principal de carotenoides en la industria alimentaria, sus extractos pueden potencialmente ser utilizados como colorantes naturales en productos alimenticios, incrementando tanto su presentación apetecible como su calidad nutricional [Moldovan et al. 2024].



## Conclusión

La transición hacia el uso de colorantes naturales en lugar de sintéticos no solo responde a preocupaciones sobre la salud, sino que también representa una oportunidad significativa para la innovación en la industria alimentaria. A medida que los consumidores buscan productos más seguros y sostenibles, los colorantes naturales se posicionan como una alternativa viable que puede enriquecer tanto la estética como el valor nutricional de los alimentos. En particular, aquellos de tonalidad amarilla, pueden derivarse de diversas fuentes; sin embargo, los colorantes a partir de flores como el cempasúchil (*T. erecta*), la caléndula (*C. officinalis*), el ipê-amarelo (*T. aurea*), y la dahlia (*Dahlia* spp.) se presentan como una alternativa a los amarillos sintéticos. Esto debido a su abundancia en metabolitos fitoquímicos, como carotenoides y flavonoides, que no solo proporcionan una amplia gama de tonalidades, sino que también ofrecen beneficios adicionales para la salud. Esta combinación de factores posiciona a los colorantes florales como una alternativa atractiva en la industria alimentaria.



## Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento otorgado a las autoras Beatriz Pérez Camacho y Arantza Sánchez-Orantes en el proyecto 2024-A053.

# REFERENCIAS

- Affat-Sadja S (2021). Classifications, Advantages, Disadvantages, Toxicity Effects of Natural and Sintetica Des: A review. *University of Thiara Journal of Science*, 8(1).
- Ardila-Leal L D, Poutou-Piñales R A, Pedroza-Rodríguez A M, Quevedo-Hidalgo B (2021). A Brief History of Colour, the Environmental Impact of Synthetic Dyes and Removal by Using Laccases. *Molecules*, 26(13), 3813. <https://doi.org/10.3390/molecules26133813>
- Basu P, Maier C, Basu A (2021). Effects of Curcumin and Its Different Formulations in Preclinical and Clinical Studies of Peripheral Neuropathic and Postoperative Pain: A Comprehensive Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 4666. <https://doi.org/10.3390/ijms22094666>
- Belmonte L J, Arroyo I, Vázquez M, Cruz D, Peña E (2016). *REVISTA NATURALEZA Y TECNOLOGIA Colorantes artificiales en alimentos Synthetic dyes in food stuff*.
- Britton G. (2022). Gotinga ti know carotenoids. *Methods in Enzymology*, 670, 1–56. <https://doi.org/10.1016/B5.MIE.2022.04.005>
- Brudzyńska P, Sionkowska A, Grisel M (2021). Plant-Derived Colorants for Food, Cosmetic and Textile Industries. A Review. *Materials* [Basel];14(13):3484. doi: 10.3390/ma14133484.
- Carabet C A, Moanță A, Pălărie I, Iacobescu G, Rotaru A, Leulescu M, Popescu M, Rotaru P (2020). Physical, Thermal and Biological Properties of Yellow Dyes with Two Azodiphenylether Groups of Anthracene. *Molecules* [Basel, Switzerland], 25(23), 5757. <https://doi.org/10.3390/molecules25235757>
- Deepika S, Harishkumar R, Dinesh M, Abarna R, Anbalagan M, Roopan S M, Selvaraj C I (2017). Photocatalytic degradation of synthetic food dye, sunset yellow FCF (FD&amp;C yellow no. 6) by *Ailanthus excelsa* Roxb. possessing antioxidant and cytotoxic activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 177, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.10.015>
- Karabörk Ş, Dođdu G, Pekdemir T (2023). Cytotoxic Efficacy of Indigo and Yellow 2G with Vitamin C on the HepG2 Cell Line. *International Journal of Nature and Life Sciences*, 7(1), 1–7. <https://doi.org/10.47947/ijnls.1237640>
- Kumar A, Seth K, Maheshwari K, Kumar P, Meena M, Kumar A (2021). Biosynthesis and extraction of high-value carotenoid from algae. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, 26(6), 171. <https://doi.org/10.52586/4932>
- Mahmud A R, Ema T I, Siddiquee Mohd F, Shahriar A, Ahmed H, Mosfeq-Ul-Hasan M, Rahman N, Islam R, Uddin M R, & Mizan F R (2023). Natural flavonols: actions, mechanisms, and potential therapeutic utility for various diseases. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 12(1), 47. <https://doi.org/10.1186/s43088-023-00387-4>
- Mapelli-Brahm P, Gómez-Villegas P, Gonda M L, León-Vaz A, León R, Mildenerberger J, Rebours C, Saravia V, Vero S, Vila E, Meléndez-Martínez A J (2023). Microalgae, Seaweeds and Aquatic Bacteria, Archaea, and Yeasts: Sources of Carotenoids with Potential Antioxidant and Anti-Inflammatory Health-Promoting Actions in the Sustainability Era. *Marine drugs*, 21(6), 340. <https://doi.org/10.3390/md21060340>
- Martínez-García M, Garduño-Solórzano G, Lopes G, Sanchez B A, Urbatzka R, Hentschke G S, Campos J E, & Vasconcelos V M O (2023). Antioxidant, Anti-Inflammatory and Anti-Obesity Potential of Extracts Containing Phenols, Chlorophyll and Carotenoids from Mexican Wild Populations of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst. *Biology*, 12(4), 620. <https://doi.org/10.3390/biology12040620>
- Moldovan I, Cotoz A P, Rózsa S, Magyari K, Lehel L, Baia M, Cantor M (2024). The Influence of Technological Factors on the Structure and Chemical Composition of Tuberous Dahlia Roots Determined Using Vibrational Spectroscopy. *Plants* [Basel, Switzerland], 13(14), 1955. <https://doi.org/10.3390/plants13141955>
- Núñez-Navarro N, Salazar Muñoz J, Castillo F, Ramírez-Sarmiento C A, Poblete-Castro I, Zacconi F C, Parra L (2022). Discovery of New Phenylacetone Monooxygenase Variants for the Development of Substituted Indigoids through Biocatalysis. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(20), 12544. <https://doi.org/10.3390/ijms232012544>
- Olennikov D N, Kashchenko N I (2022). Marigold Metabolites: Diversity and Separation Methods of *Calendula* Genus Phytochemicals from 1891 to 2022. *Molecules* [Basel, Switzerland], 27(23), 8626. <https://doi.org/10.3390/molecules27238626>
- Oliveira H, Correia P, Pereira A R, Araújo P, Mateus N, de Freitas V, Oliveira J, Fernandes I (2020). Exploring the Applications of the Photoprotective Properties of Anthocyanins in Biological Systems. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(20), 7464. <https://doi.org/10.3390/ijms21207464>
- Polyakov N E, Focsan A L, Gao Y, Kispert L D (2023). The Endless World of Carotenoids—Structural, Chemical and Biological Aspects of Some Rare Carotenoids. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(12), 9885. <https://doi.org/10.3390/ijms24129885>
- Rahman M M, Islam M B, Biswas M, Khurshid A H (2015). In vitro antioxidant and free radical scavenging activity of different parts of *Tabebuia pallida* growing in Bangladesh. *BMC research notes*, 8, 621. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1618-6>
- Renita A A, Gajaria T K, Sathish S, Kumar J A, Lakshmi D S, Kujawa J, Kujawski W (2023). Progress and Prospective of the Industrial Development and Applications of Eco-Friendly Colorants: An Insight into Environmental Impact and Sustainability Issues. *Foods* [Basel, Switzerland], 12(7), 1521. <https://doi.org/10.3390/foods12071521>
- Rodríguez-Amaya D B, Esquivel P, Meléndez-Martínez A J (2023). Comprehensive Update on Carotenoid Colorants from Plants and Microalgae: Challenges and Advances from Research Laboratories to Industry. *Foods*, 12(22), 4080. <https://doi.org/10.3390/foods12224080>
- Sadowska-Bartosz I, Bartosz G (2021). Biological Properties and Applications of Betalains. *Molecules*, 26(9), 2520. <https://doi.org/10.3390/molecules26092520>
- Simkin A J (2021). Carotenoids and Apocarotenoids in Planta: Their Role in Plant Development, Contribution to the Flavour and Aroma of Fruits and Flowers, and Their Nutraceutical Benefits. *Plants*, 10(11), 2321. <https://doi.org/10.3390/plants10112321>
- Thakur M, Modi VK (2024). Biocolorants in food: Sources, extraction, applications and future prospects. *Crit Rev Food Sci Nutr*. ;64(14):4674-4713. doi: 10.1080/10408398.2022.2144997.
- Vega E N, Ciudad-Mulero M, Fernández-Ruiz V, Barros L, Morales P (2023). Natural Sources of Food Colorants as Potential Substitutes for Artificial Additives. *Foods* [Basel, Switzerland], 12(22), 4102. <https://doi.org/10.3390/foods12224102>
- Wang Q, Chen J, Huang Y (2018). Aerobic Oxidation/Annulation Cascades through Synergistic Catalysis of RuCl<sub>3</sub> and N-Heterocyclic Carbenes. *Chemistry*. ;24(49):12806-12810. doi: 10.1002/chem.201803254.
- Wong D C J, Pichersky E, Peakall R (2023). Many different flowers make a bouquet: Lessons from specialized metabolite diversity in plant–pollinator interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 73, 102332. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102332>

# Rojo Bikaverina: El Pigmento Natural con Potencial para la Industria

Campuzano Pérez Diego<sup>1</sup>, Ceballos Anaya Heimdal<sup>1</sup>,  
Domínguez Guevara Axel<sup>1</sup>, Hernández Rodríguez  
Aranza<sup>2</sup>, López y López Víctor Eric<sup>2</sup>, Díaz Pacheco Adrián<sup>1</sup>,  
Sulem Yali Granados Balbuena<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Tlaxcala del  
Instituto Politécnico Nacional, Guillermo Valle, Tlaxcala, C.P. 90000, México.

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

Autores de correspondencia:

Adiazpa@ipn.mx, dcampuzanop2200@alumno.ipn.mx.





## RESUMEN

Los colorantes forman una parte importante de múltiples productos de diversas industrias, desde la alimenticia hasta la textil. Esto debido al impacto en la percepción del producto final por parte de los consumidores. Entre los tonos de mayor impacto destacan los rojos por su capacidad de captar la atención y evocar emociones, lo cual lo ha convertido en un color imprescindible en diversas aplicaciones. No obstante, en las últimas décadas, la creciente preocupación por el impacto ambiental y los efectos a la salud de los colorantes sintéticos ha llevado a la búsqueda de alternativas naturales de fuentes derivadas de plantas, insectos, minerales y microorganismos. Entre las opciones encontradas actualmente para pigmentos rojos destaca la bikaverina, la cual es un pigmento producido por algunos hongos del género *Fusarium*, conocido por sus propiedades biológicas y potenciales aplicaciones industriales. Algunas de sus propiedades biológicas más destacadas son como antimicrobiano y anticancerígeno. Por eso existe un creciente interés en optimizar la producción de pigmentos obtenidos por fermentación. Sin embargo, la información sobre la producción es aún escasa y las estrategias actualmente empleadas son insuficientes para obtener rendimientos adecuados.

**Palabras clave:** pigmento fúngico, producción, fermentación

## ABSTRACT

Colorants are an important part of multiple products across industries, from food to textile sector. This relevance is due to their impact on consumer perception of the final product. Among the colorants with the greatest impact, red stands out for their ability to capture attention and evoke emotions, making it an essential color in diverse applications. However, in recent decades, growing concern about the environmental impact and health risks associated with synthetic dyes has led to the search for natural alternatives from sources derived from plants, insects, minerals, and microorganisms. Within the existing options for red pigments, bikaverin, a pigment produced by some fungi from the *Fusarium* genus, is noteworthy for its biological properties and potential industrial applications. Some of its most outstanding biological properties include antimicrobial and anticarcinogenic effects. Therefore, there is a growing interest in optimizing the production of pigments obtained through fermentation. Nonetheless, production data remains limited, and the strategies currently employed are insufficient to obtain adequate yields.

**Keywords:** fungal pigment, production, fermentation

## Introducción

El color es una propiedad muy importante en diversos sectores industriales, debido a que puede fungir como sinónimo de calidad o ser atrayente al consumidor. El arte de teñir y pintar ha prevalecido desde tiempos ancestrales hasta la actualidad, reflejando la constante necesidad humana por adornar y estilizar objetos en la vida cotidiana [Patel y Shivani Patel, 2023]. Desde que el químico inglés William Perkin creó los colorantes sintéticos en 1856, su impacto económico fue significativo. No solo ofrecían mayor durabilidad, estabilidad y una amplia gama de tonos en comparación con los colorantes naturales, sino que también permitieron reducir considerablemente los costos de producción, lo que los hizo especialmente atractivos para la industria [Simon et al., 2017]. Sin embargo, gran parte de los colorantes artificiales empleados en sectores como el alimentario, farmacéutico o cosmético, derivan de compuestos del petróleo. El 90% de los colorantes sintéticos que se fabrican se emplean en alimentos, y han sido asociados a efectos adversos hacia la salud, tales como hiperactividad, alergia en la piel, migraña, asma, cáncer, problemas gástricos y disturbios en el sueño [Ramesh y Muthuraman, 2018]. Por otro lado, su producción representa una amenaza para el medio ambiente, ya que se necesita de temperaturas elevadas, pH, catalizadores metálicos y ácidos fuertes. Además, este proceso genera grandes cantida-

des de efluentes cargados de sustancias químicas tóxicas como subproductos o contaminantes tales como los compuestos 4-aminobifenil, 4-aminoazobenceno y bencidina, los cuales son potenciales carcinógenos [Patel y Shivani Patel, 2023]. Las problemáticas que representan hacia la salud y el medio ambiente han causado el interés por buscar colorantes de fuentes naturales como una alternativa que brinden color, beneficios a la salud y que su producción sea amigable con el medio ambiente. Dentro de las opciones actualmente empleadas destacan aquellos pigmentos obtenidos de fuentes alimentarias, florales y microbianas, siendo estos últimos los de mayor potencial.



## 2

## Colorantes naturales, lo de moda

Los colorantes naturales han sido clasificados de varias maneras. Entre ellas, destacan las categorías de estructura química, fuente de origen y aplicación. De acuerdo con la clasificación basada por su fuente, se encuentran aquellos de origen animal, mineral o vegetal. A diferencia de los colorantes sintéticos, la mayoría de los colorantes naturales han sido asociados a efectos benéficos a la salud, incluyendo mejoras en la visión, protección cardiovascular, neuroprotección y actividad anticarcinogénica [de Mejía et al. 2020]. Por lo tanto, actualmente son foco de interés para ser aplicados en diferentes sectores, siendo la industria textil y alimentaria las de mayor relevancia. Por otro lado, la mayoría de los colorantes naturales deben ser extraídos, por lo que se emplean disolventes de acuerdo con la polaridad del colorante y métodos de extracción para obtenerlos; algunos como, maceración, ultrasonido, microondas, entre otros [Yusuf et al. 2017]. Sin embargo, la obtención de pigmentos naturales a menudo depende de disolventes orgánicos que pueden ser tóxicos y perjudiciales para el medio ambiente [Islam et al. 2024]. Además, los procesos de extracción convencionales pueden consumir una cantidad considerable de energía, en particular cuando se requieren altas temperaturas en el proceso [Geissler y Bechtold. 2023], lo que genera preocupaciones ambientales. Esto fue uno de los motivos fundamentales por los cuales los colorantes naturales cayeron en desuso en un principio.

Por lo tanto, actualmente una gran cantidad de investigaciones centran su objetivo en optimizar las condiciones de extracción, inducir una mayor producción del colorante y explorar nuevas fuentes, con la perspectiva de desarrollar técnicas aún más eficientes y sostenibles en el futuro, que no solo contribuyan a mejorar la calidad y rendimiento del colorante, sino también a reducir el impacto ambiental del proceso, ampliando así las aplicaciones industriales y biotecnológicas de estos compuestos y respondiendo a las crecientes demandas del mercado global [Sun et al. 2024].



## 3

## Colorantes naturales, lo de moda

Los colorantes producidos por fermentación representan una alternativa innovadora y sostenible a los colorantes sintéticos y a los colorantes naturales extraídos de plantas. Este enfoque se basa en el uso de microorganismos como bacterias, hongos y levaduras, los cuales, a través de fermentación sumergida o sólida, producen compuestos con propiedades colorantes [Morales-Oyervides et al. 2020]. La fermentación ofrece varias ventajas respecto a la extracción directa de pigmentos de fuentes vegetales o animales. En primer lugar, permite una producción más controlada y predecible, lo que resulta en una mayor consistencia en el color y la calidad del producto final. Además, es un proceso más sostenible, ya que no depende de cultivos agrícolas extensivos ni de la explotación de recursos naturales, lo que reduce el impacto ambiental. Tal es el caso de la producción de betalainas por *Yarrowia lipolytica* en lugar de su extracción con betabel rojo [Thomsen et al. 2023].

Entre los pigmentos naturales que se pueden obtener por fermentación destacan las **antocianinas** producidas por *S. cerevisiae*, *E. coli*, *Corynebacterium glutamicum* y *Lactococcus lactis*; las **betalainas** por *S. cerevisiae*, *Yarrowia lipolytica* y *E. coli*; el **ácido carmínico** por *Aspergillus nidulans*, *E. coli* y *S. cerevisiae*; **carotenoides** por *Yarrowia lipolytica*, *E. coli* y *Corynebacterium glutamicum*; **Curcumina** por *E. coli* y *S. cerevisiae*; **Riboflavina** por *Ashbya gossypii*, *B. subtilis* y *Candida fomatata*; **Melanina** por *Yarrowia lipolytica*, *Streptomyces kathirae*, *Armillaria cepistipes* y *E. coli*; y **hemoglobina** por *Pichia pastoris* y *E. coli* [Thomsen et al. 2024] [Figura 1].

Adicionalmente se han identificado diversas propiedades bioactivas en los pigmentos microbianos como antioxidantes, anticancerígenos, hipolipemiantes y antimicrobianos, lo cual ha aumentado la atención en su producción [Das et al. 2022]. Debido a dichas propiedades bioactivas y a su capacidad pigmentante, los colorantes microbianos han en-

contrado aplicación en la industria farmacéutica, cosmética, alimenticia y textil [Barreto et al., 2023]. No obstante, la producción de pigmentos continúa siendo un reto debido a los bajos rendimientos y las toxinas potencialmente peligrosas que se producen [Di Salvo et al. 2023]. Adicionalmente, mucha de la producción actual se realiza a una escala de laboratorio [Dave et al. 2020].

Es por ello que, al presente, la investigación se centra en la optimización de parámetros de crecimiento y el uso de microorganismos genéticamente modificados para mejorar los rendimientos de producción [Kuniecki et al. 2015].



De entre los pigmentos obtenidos actualmente, los de tonalidad roja son los más importantes. En la industria alimentaria se suele asociar con la frescura y calidad de productos, mientras que en la cosmética simboliza sensualidad y confianza [Kuniecki et al. 2015]. Es por ello que la mayoría de los trabajos se centran en la producción de pigmentos de tonalidades rojas como antocianinas [Mattioli et al. 2020], betalainas [Calva-Estrada et al. 2022] y bikaverina [Lin y Xu 2022].

Figura 1. Pigmentos producidos a partir de fermentación

## 4

## Bikaverina de envidia

La bikaverina es un pigmento rojizo producido por diferentes especies de hongos como *Mycogone jaarii*, *Verticillium agaricinum*, *Beauveria bassiana*, *Paecilomyces fumosoroseus* y *Polyporus sulphureus*, principalmente del género *Fusarium* [Beyzi et al. 2024]. Dicha molécula es un compuesto orgánico heterotetracíclico con un polifenol, un éter aromático, un éter cíclico y una cetona cíclica; químicamente se describe como 10H-benzo[b]xanteno-7,10,12-triona sustituida por grupos hidroxilo en las posiciones 6 y 11, grupos metoxi en las posiciones 3 y 8 y un grupo metilo en la posición 1 [Figura 2].



*Fusarium fujikuroi*

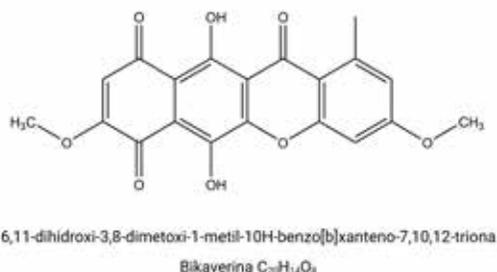


Figura 2. *Fusarium fujikuroi* y bikaverina, [estructura, nombre IUPAC y fórmula condensada]

Al igual que otros pigmentos naturales se ha reportado que la bikaverina presenta actividad antimicrobiana y antitumoral [dos Santos et al. 2020]. Estudios han demostrado que esta inhibe significativamente el crecimiento de bacterias como *E. coli* [Deshmukh et al. 2014]. Respecto a sus propiedades antibióticas, se ha observado que tiene aplicaciones comerciales prometedoras en el control de protozoos y hongos patógenos o en el tratamiento del cáncer [Deshmukh et al. 2014]. Además, ha mostrado actividad actinomiceto *in vitro* e *in vivo* contra *P. infestans* (un hongo patógeno) suprimiendo su desarrollo en tomate en un 71% empleando 300 µg ml<sup>-1</sup> de pigmento [Son et al. 2008]. Por dichas razones, este colorante presenta gran potencial para aplicaciones en diversos campos como la industria alimentaria, textil y farmacéutica [Beyzi et al. 2024].

*Gibberella fujikuroi* se encarga de producir bikaverina como un metabolito secundario por medio de una ruta biosintética de policétidos. El compuesto producido tiene propiedades biológicas interesantes tales como la actividad antimicrobiana y antiproliferativa, esto nos permite darle más aplicaciones como su uso en las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética. [Linnemannstöns et al. 2002]. El gen encargado de la biosíntesis es *pk4*, este se encarga de codificar enzimas de la familia de las sintasas de policétidos. La expresión de *pk4* se regula por medio de factores ambientales, pero los que tienen mayor impacto son disponibilidad de nitrógeno y el pH del medio. Cuando este se encuentra en condiciones de baja disponibilidad de nitrógeno, se da un aumento en la producción del agente colorante. [Linnemannstöns et al. 2002]. En estado natural, este pigmento se extrae como una sustancia de coloración roja, pero se ha observado que puede adquirir tonos azules tras tratamientos térmicos, lo cual sugiere posibles aplicaciones como un colorante versátil, abarcando un espectro de colores según el procesamiento. [dos Santos et al. 2022]. La producción del pigmento es un ejemplo de un compuesto que se sintetiza cuando el crecimiento celular activo

cesa, lo cual coincide con la fase de producción de metabolitos secundarios en muchos hongos [dos Santos et al. 2022].

No obstante, el colorante antes mencionado no está regulado por la FDA debido a que, hasta la fecha no ha sido sujeto a pruebas y procesos formales de aprobación para su uso en productos farmacéuticos o alimentarios. Para que la FDA apruebe un aditivo de color, es necesario que se demuestre tanto la seguridad como la eficacia de la sustancia para un uso particular. Dado que la bikaverina es mayormente un compuesto de interés en investigación, no ha tenido el impulso necesario en su desarrollo para que se someta a un proceso regulatorio formal [Wiemann et al. 2009]. Los colorantes para uso alimentario deben ser inertes y no tóxicos, sin embargo, muchas veces al obtener la molécula del pigmento de fuentes naturales, esto no sucede, por ello, todos los

aditivos alimentarios deben someterse a pruebas toxicológicas. Con respecto a esto, las pruebas de toxicidad y acción de la bikaverina se han realizado en células no tumorales de hígado de rata, dando como resultado que, a una concentración de 191  $\mu\text{g}/\text{mL}$  durante 18 h condujo a la muerte celular, aunque esto no ocurrió a concentraciones más bajas [0.382, 1.91, 3.82, 19.1 y 38.2  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ]. Adicionalmente, la bikaverina no presentó genotoxicidad [Norred et al. 1992], que se refiere a la capacidad de los agentes químicos de dañar la información genética de las células [Akash et al. 2022]. De esta manera, las propiedades antimicrobianas, aunado a las pruebas realizadas de toxicidad, nos indican que el pigmento rojo tiene un camino claro por seguir, con el fin de reducir el impacto ambiental y obtener un colorante no solo amigable con el medio ambiente, sino también un agente útil en la preservación de alimentos. Así, la bikaverina se posiciona como una prometedora herramienta de aplicación industrial.



## Producción de bikaverina, el cuello de botella

Respecto a la producción, la mayoría de los trabajos sobre producción de este pigmento se centran en el uso de fermentación líquida a nivel matraz o biorreactor a escala. Entre los principales factores que propician la síntesis del colorante se encuentra el uso de medios de cultivo con deficiencia en nitrógeno, fosfato y sulfato y condiciones de cultivo como un pH ácido y una adecuada aireación [Limón et al. 2010] [Figura 3]. Por ejemplo, en fermentación discontinua sumergida de *Gibberella fujikuroi*, la producción comienza antes del agotamiento total del nitrógeno, confirmando la dependencia de la producción con la concentración de nitrógeno en el medio de cultivo [del Carmen Chavez-Parga et al, 2008]. En cuanto a los rendimientos obtenidos, la mayoría de los trabajos reportan rendimientos menores a 7  $\text{g L}^{-1}$ . Por ejemplo, la producción en matraces agitados con *Fusarium* sp., empleando harina de semilla de algodón y glucosa, permitió obtener 6.3  $\text{g L}^{-1}$  de bikaverina [Lale y Gadre 2016]; mientras que empleando *F. oxysporum* CCT7620 en medio de arroz, solo ha permitido obtener 320.5  $\text{mg L}^{-1}$  a 96 h [Santos et al. 2020]. Por otro lado, utilizando sistemas de cultivo como un biorreactor fluidizado con *Gib-*

*berella fujikuroi* inmovilizada permitió obtener 6.83  $\text{g L}^{-1}$  a 160 h [Escamilla-Silva et al., 2001]. Rendimientos similares se han logrado con mutantes de *Fusarium fujikuroi* en cultivos sumergidos (6.3  $\text{g L}^{-1}$  a 120 h) mediante la optimización de la relación Carbono:-Nitrógeno (C:N) y probando diferentes fuentes de carbono y nitrógeno [Lale y Gadre, 2016]. Trabajos recientes muestran menores producciones con *Fusarium oxysporum* (380.2  $\text{mg L}^{-1}$  a 96 h) optimizando parámetros clave como agitación, temperatura y concentración inicial de sustrato [Santos et al. 2020]. Uno de los estudios más recientes reporta una producción de 300  $\text{mg L}^{-1}$  a 48 h, evaluando el efecto de parámetros de escalamiento como  $k_{La}$  y velocidad en la punta del impulsor sobre la producción en un biorreactor de tanque agitado [dos Santos et al. 2022]. Debido a los bajos rendimientos obtenidos es de interés optimizar los principales factores que afectan la producción de bikaverina en fermentaciones sumergidas y sólidas. Un factor clave en estos trabajos es la fuente de carbono y las condiciones de cultivo, lo cual representa un área de oportunidad para desarrollar investigación. Finalmente, una vez producido el pigmento intracelular, este se pue-

de extraer del micelio con solventes como cloroformo o acetato de etilo [Mendonça et al. 2021], tras obtener el pigmento, se cuantifica mediante técnicas espectroscópicas y cromatográficas como UV-Vis, HPLC y LC-MS. En cromatografía líquida de alto rendimiento acoplada a espectrometría de masas en tándem con ionización por electrospray [LC-MS/MS], se han reportado rendimientos del  $70.6 \pm 10.4\%$  en maíz enriquecido con bikaverina a un nivel de  $5 \mu\text{g g}^{-1}$  [Busman et al. 2012]. Lo anterior sugiere que el proceso de producción aun no es perfecto y es un área de oportunidad para comenzar a optimizar la producción de un producto con gran potencial biotecnológico.

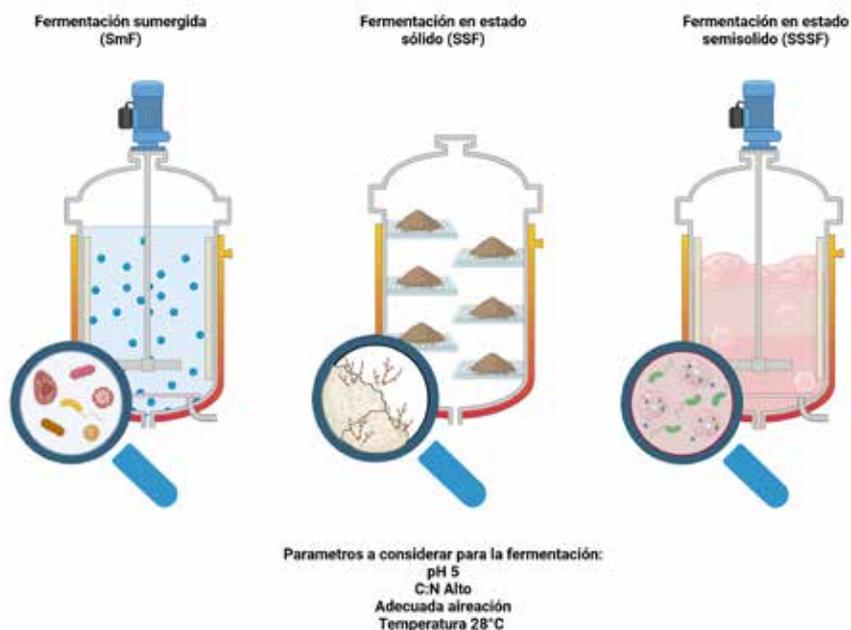


Figura 3. Modos de producción de bikaverina en biorreactor

## 6

### Conclusiones

La bikaverina ha demostrado ser una prometedora alternativa para su aplicación en diversos sectores debido a sus potenciales efectos terapéuticos y sus usos prácticos en distintas áreas industriales. Su origen natural y su vibrante tonalidad roja la convierten en una opción atractiva frente a los colorantes sintéticos, que a menudo plantean problemas de sostenibilidad y seguridad. Por ello, el estudio de su producción es crucial para el avance de la biotecnología industrial. A medida que las investigaciones avanzan en la optimización de su producción y extracción, la bikaverina tiene el potencial de convertirse en una solución sostenible para la creciente demanda de pigmentos naturales, contribuyendo a reducir el impacto ambiental de los colorantes artificiales y mejorando la calidad de los productos finales.

## 7

### Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional por el proyecto aprobado y financiamiento otorgado a través de la convocatoria "Proyecto Innovación Alumnos 2024" y al apoyo brindado al proyecto 2024-A145.

# REFERENCIAS

- Akash MR, Vaneeswari G, Indumathi V, Ranjith J, Devi MM, Kalarani DH [2022] Genotoxic chemotherapy. *International Journal of Pharmacognosy and Pharmaceutical Sciences* 4: 65–73.
- Barreto JV, Casanova LM, Junior AN, Reis-Mansur MCPP, Vermelho AB [2023] Microbial Pigments: Major Groups and Industrial Applications. *Microorganisms* 11: 2920.
- Beyzi E, Kūlahcı MB, Çerçi NA, [2024] Investigation of the mutagenic, cytotoxic and antimicrobial effect of bikaverin mycotoxin. *Bioscience Journal* 40: e40020.
- Busman M, Butchko RAE, Proctor RH [2012] LC-MS/MS method for the determination of the fungal pigment bikaverin in maize kernels as an indicator of ear rot. *Food Additives & Contaminants: Part A* 29: 1736–1742.
- Calva-Estrada SJ, Jiménez-Fernández M, Lugo-Cervantes E [2022] Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. *Food Chemistry: Molecular Sciences* 4: 100089.
- Das S, Pandit SG, Dhale MA [2022] Wheat Bran Hydrolysate Culture Medium Design for *Talaromyces purpureogenus* CFRM02 Pigment Production and Colour Characteristics. *Bioenergy Res* 15: 1439–1448.
- Dave SR, Upadhyay KH, Vaishnav AM, Tipre DR [2020] Exopolysaccharides from marine bacteria: production, recovery and applications. *Environmental Sustainability* 3: 139–154.
- de Mejia EG, Zhang Q, Penta K, Eroglu A, Lila MA [2020] The Colors of Health: Chemistry, Bioactivity, and Market Demand for Colorful Foods and Natural Food Sources of Colorants. *Annu Rev Food Sci Technol* 11: 145–182.
- del Carmen Chavez-Parga Ma, Gonzalez-Ortega O, de la Luz Negrete-Rodríguez Ma, Vallarino IG, Alatorre GG, Escamilla-Silva EM [2008] Kinetic of the gibberellic acid and bikaverin production in an airlift bioreactor. *Process Biochemistry* 43: 855–860.
- Deshmukh R, Mathew A, Purohit HJ [2014] Characterization of antibacterial activity of bikaverin from *Fusarium* sp. HKF15. *J Biosci Bioeng* 117: 443–448.
- Di Salvo E, Lo Vecchio G, De Pasquale R, De Maria L, Tardugno R, Vadalà R, Cicero N, [2023] Natural Pigments Production and Their Application in Food, Health and Other Industries. *Nutrients* 15: 1923.
- dos Santos MC, Cerri MO, Bicas JL [2022] Relation of shear stress and KLa on bikaverin production by *Fusarium oxysporum* CCT7620 in a bioreactor. *Bioprocess Biosyst Eng* 45: 733–740.
- dos Santos MC, Mendonça M de L, Bicas JL, [2020] Modeling bikaverin production by *Fusarium oxysporum* CCT7620 in shake flask cultures. *Bioresour Bioprocess* 7: 13.
- Escamilla-Silva E, Poggi-Varaldo H, De la Torre-Martínez MM, Sanchez Cornejo MAG, Dendooven L [2001] Selective production of bikaverin in a fluidized bioreactor with immobilized *Gibberella fujikuroi*. *World J Microbiol Biotechnol* 17: 469–474.
- Geissler S, Bechtold T [2023] Environmental and Economic Position of Natural Colorants—Energy and Resources Balances, Sustainability, Ecology, and Costs. *Handbook of Natural Colorants*, 591–612 pp.
- Islam M, Farhan MS, Mahmud MH [2024] Green extraction of dyes and pigments from natural resources. In *Renewable Dyes and Pigments*: 19–36.
- Kuniecki M, Pilarczyk J, Wichary S [2015] The color red attracts attention in an emotional context. An ERP study. *Front Hum Neurosci* 9: 212.
- Lale GJ, Gadre RV [2016] Production of bikaverin by a *Fusarium fujikuroi* mutant in submerged cultures. *AMB Express* 6: 34.
- Limón MC, Rodríguez-Ortiz R, Avalos J [2010] Bikaverin production and applications. *Appl Microbiol Biotechnol* 87: 21–29.
- Lin L, Xu J [2022] Production of Fungal Pigments: Molecular Processes and Their Applications. *Journal of Fungi* 9: 44.
- Linnemannstons P, Schulte J, del Mar Prado M, Proctor RH, Avalos J, Tudzynski B [2002] The polyketide synthase gene *pkS4* from *Gibberella fujikuroi* encodes a key enzyme in the biosynthesis of the red pigment bikaverin. *Fungal Genetics and Biology* 37: 134–148.
- Mattioli R, Francioso A, Mosca L, Silva P [2020] Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules* 25: 3809.
- Mendonça M, dos Santos MC, Pereira AK, Fill TP, Forte MBS, Bicas JL, [2021] Recovery and purification of bikaverin produced by *Fusarium oxysporum* CCT7620. *Food Chem X* 12: 100136.
- Morales-Oyervides L, Ruiz-Sánchez JP, Oliveira JC, Sousa-Gallagher MJ, Méndez-Zavala A, Giuffrida D, Dufossé L, Montañez J [2020] Biotechnological approaches for the production of natural colorants by *Talaromyces/penicillium*: A review. *Biotechnol Adv* 43: 107601.
- Norred WP, Plattner RD, Vesonder RF, Bacon CW, Voss KA [1992] Effects of selected secondary metabolites of *Fusarium moniliforme* on unscheduled synthesis of DNA by rat primary hepatocytes. *Food and Chemical Toxicology* 30: 233–237.
- Patel A, Patel S [2023] An Inventory of Dye-Yielding Plants Indigenous to Gujarat. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research-DISCONTINUED* 12: 2.
- Ramesh M, Muthuraman A, [2018] Flavoring and Coloring Agents: Health Risks and Potential Problems, in: *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*. Elsevier, 1–28 pp.
- Simon JE, Decker EA, Ferruzzi MG, Giusti MM, Mejia CD, Goldschmidt M, Talcott ST [2017] Establishing Standards on Colors from Natural Sources. *J Food Sci* 82: 2539–2553.
- Son SW, Kim HY, Choi GJ, Lim HK, Jang KS, Lee SO, Lee S, Sung ND, Kim JC [2008] Bikaverin and fusaric acid from *Fusarium oxysporum* show antioomycete activity against *Phytophthora infestans*. *J Appl Microbiol* 104: 692–698.
- Sun W, Dai Y, Lai T, Jin X, Wu M [2024]. Research on the application of biological mordant dyeing with natural dyes. *Advances in Engineering Innovation*, 9(1): 87–91.
- Thomsen PT, Meramo S, Ninivaggi L, Pasutto E, Babaei M, Avila-Neto PM, Pastor MC, Sabri P, Rago D, Parekh TU, Hunding S, Christiansen LEJ, Sukumara S, Borodina I, [2023] Beet red food colourant can be produced more sustainably with engineered *Yarrowia lipolytica*. *Nat Microbiol* 8: 2290–2303.
- Thomsen PT, Nielsen SR, Borodina I [2024] Recent advances in engineering microorganisms for the production of natural food colorants. *Curr Opin Chem Biol* 81: 102477.
- Wiemann P, Willmann A, Straeten M, Kleigrewé K, Beyer M, Humpf H, Tudzynski B, [2009] Biosynthesis of the red pigment bikaverin in *Fusarium fujikuroi*: genes, their function and regulation. *Mol Microbiol* 72: 931–946.
- Yusuf M, Shabbir M, Mohammad F [2017] Natural Colorants: Historical, Processing and Sustainable Prospects. *Nat Prod Bioprospect* 7: 123–145.

# OFERTA ACADÉMICA

## CONVOCATORIA 2024



**Maestría en Biotecnología Aplicada**

**Maestría en Biotecnología Productiva**

**Doctorado en Ciencias en Biotecnología**

**Doctorado en Biotecnología Productiva**

# PHB ¿Plasti-Villano o Nuevo Héroe?

Melendez Xicohtencatl Yazmin<sup>1</sup>; Diaz Pacheco Adrián<sup>2</sup>; Romero Sánchez Marco Tulio<sup>1</sup>; Hernández Rodríguez Aranza<sup>1</sup>; Gracida Rodríguez Jorge Noel<sup>3</sup>; Sierra Martínez Pável<sup>4</sup>; López y López Víctor Eric<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla, km 1.5, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala C.P. 90700, México. \*Correspondencia: vlopezyl@ipn.mx

<sup>2</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Tlaxcala del Instituto Politécnico Nacional, Guillermo Valle, Tlaxcala, C.P. 90000, México.

<sup>3</sup>Univesidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas, Querétaro, C.P. 76010, México.

<sup>4</sup>Universidad Autónoma de Guerrero, Lázaro Cárdenas, Guerrero, C.P. 39086, México.





## RESUMEN

La cantidad de residuos plásticos sigue aumentando, debido a esta contaminación, una de las principales inquietudes es que también se ha incrementado la cantidad de los microplásticos en la alimentación humana. Por ello, se han buscado alternativas que permitan sustituir a los plásticos, que no contribuyan como desechos persistentes, al contrario, que los materiales desarrollados sean amigables con el ambiente, dando como opciones los bioplásticos. Entre los tipos de bioplásticos se encuentra los polihidroxicanoatos (PHAs), estos conforman una familia de biopolímeros, entre los que resalta el polihidroxibutirato (PHB). El PHB se ha posicionado como el de mayor interés debido a sus similitudes con los plásticos, ser biodegradable y tener diferentes aplicaciones. En esta revisión se abordará la problemática actual por contaminación enfocada en los microplásticos, el rol del PHB, y como puede llegar a ser una alternativa contra la contaminación.

**Palabras clave:** Contaminación, microplásticos, bioplásticos, ecosostenible

## ABSTRACT

The amount of plastic waste is constantly increasing, due to this contamination, one of the main concerns is that the amount of microplastics in human food has also increased. Therefore, alternatives have been sought to replace plastics, which do not contribute as persistent waste, on the contrary, the materials developed are environmentally friendly, presenting bioplastics as alternatives. Among the types of bioplastics are polyhydroxyalkanoates (PHAs), which is a family of biopolymers, among which polyhydroxybutyrate (PHB) stands out. PHB has positioned itself as the one of greatest interest due to its similarities with plastics, its biodegradability and its different applications. This review will address the current pollution problem focused on microplastics, the role of PHB, and how it can become an alternative against pollution.

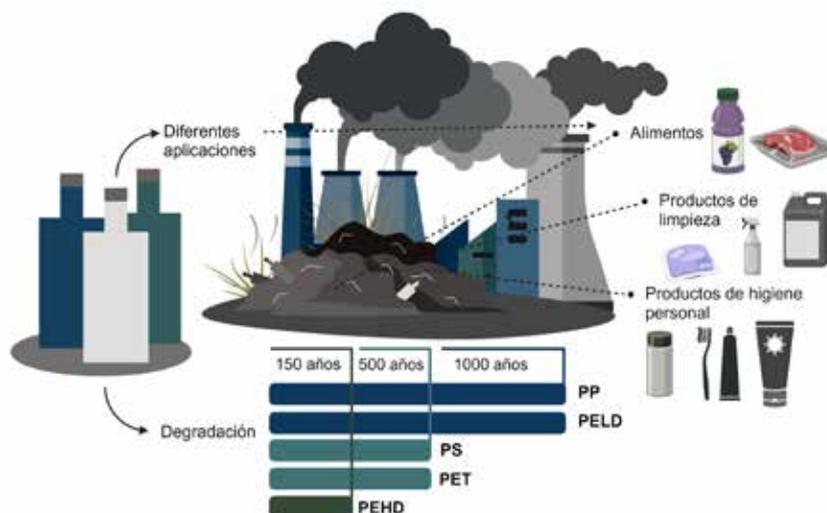
**Keywords:** Pollution, microplastics, bioplastics, pollution, eco-sustainable

## Introducción: plásticos sintéticos, los villanos ambientales más empleados

A lo largo de los años el uso de plásticos se ha popularizado debido a las ventajas que presenta en comparación con materiales como metales o vidrio. Sus propiedades como buena maleabilidad, alta resistencia y bajo costo de producción lo han colocado como una de las materias primas y productos más comercializados. A su vez sus características químicas, eléctricas, térmicas y su amplio campo de aplicaciones permiten colocarlo en el mercado mundial por encima de otros materiales [Elhacham et al. 2020]. Sin embargo, el uso indiscriminado de los plásticos en la mayoría de las actividades huma-

nas tanto domésticas como industriales ha generado un desmesurado problema de contaminación. Esto en gran parte por sus largos tiempos de degradación, ya que tan solo para una botella de agua purificada, el promedio de degradación es entre 70 a 450 años, o por ejemplo las bolsas que se usan en el supermercado es de 500 a 1000 años (Figura 1). Aun cuando sufren un deterioro, no logran degradarse del todo, sino que se forman microplásticos, los mismos que pueden permanecer por cientos de años y generar repercusiones tanto ambientales como de salud [Chamas et al. 2020; Priya et al. 2022]

Figura 1. Diferentes aplicaciones de los plásticos, donde su tiempo de degradación varía dependiendo del material de acuerdo con datos de Webb et al. 2013



Aunque existen una amplia variedad de plásticos, se consideran los usados frecuentemente a los tipos de plásticos como el polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (PEHD), polietileno de baja densidad (PELD), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), poliéster tereftalato de polietileno (PET), poliamida y acrílico, son considerados los tipos más comunes de plásticos contaminantes. En la Tabla 1 se resumen ejemplos de los usos de los plásticos.

Tabla 1. Polímeros más empleados y su uso común.

Plástico	Parámetros fisicoquímicos
<b>PP</b>	Empaques, partes de motores, partes en textiles.
<b>PEHD</b>	Dispositivos médicos, chalecos antibalas.
<b>PELD</b>	Bolsas de plástico, envolturas de plástico.
<b>PVC</b>	Tuberías, recubrimiento de cables, pisos.
<b>PS</b>	Embalaje, aislamiento, placas Petri.
<b>Poliéster</b>	Ropa, aislamiento, embalaje, cintas de grabación.
<b>PET</b>	Botellas, empaques de alimentos.
<b>Poliamida</b>	Productos de látex, nylon, gomas.
<b>Acrílico</b>	Productos de resinas usadas en cocina, construcción y motores.

Actualmente la producción de plásticos es aproximadamente de 450 millones de toneladas anuales, y se estima que la cantidad se duplique para 2045 [Bergmann et al. 2022]. En el año 2020, debido a la emergencia sanitaria global por COVID-19, el uso de plásticos de un solo uso aumento rápidamente, lo que genero alerta, por las mismas fechas el petróleo tuvo una caída en su precio, dando lugar a una producción en masas a bajo costo [Parashar y Hait, 2021; Trakunjae et al. 2023], aumentado así el problema de contaminación a nivel mundial.

## 2

### La punta del iceberg: contaminación ambiental en suelos y mares

La gestión de los plásticos sintéticos no ha logrado ser la correcta, alrededor de solo un 7% llevan un proceso de reciclaje, un 8% son incinerados, mientras que un 85% terminan en vertederos o desechados ilegalmente [Vicente et al. 2023]. Aquellos residuos que representan un 85%, tienden a ser arrojados a mares, ríos, zonas verdes, entre otras. En el mar tan solo entre el 40-80 % de la contaminación encontrada en la superficie son desechos plásticos [Ronkay et al. 2021]. Muchas de las especies marinas se ven expuestas a riesgos por consumir microplásticos, y en su mayoría provocan estrangulamiento de la fauna marina [Aytan et al. 2023]. El ecosistema marino no ha sido el único afectado por la contaminación de plásticos. Los suelos, como cuerpos de agua también han sido perjudicados, por residuos plásticos que se estiman pueden estar durante cientos o miles de años [Melchor-Martínez et al. 2022]. Aunque el mayor problema de los ecosistemas terrestres y acuáticos es la contaminación por mega (>500 mm), macro (50-500 mm), meso (5-50 mm), micro (<5 mm) y nano (<0.001 mm) plásticos [Nguyen et al., 2023].

## 3

### Consumo de microplásticos, la consecuencia de nuestra negligencia

La exposición al sol, el viento y el agua, así como incluso el desgaste de productos como las fibras textiles, ha generado microplásticos. Dejando expuesta a la fauna silvestre y marina al consumo de estos [Figura 2]. Al consumir los microplásticos es probable la ingesta de portadores aditivos como bisfenol-A (BPA), ftalato de bis[2-etilhexilo] (DEHP) y ftalato de dibutilo (DBP). Para los seres vivos tanto el BPA y DEHP son consideradas sustancias químicas disruptoras endocrinas (EDC). Las EDC pueden ocasionar a nivel epigenético en mujeres embarazadas, que el feto desarrolle enfermedades metabólicas, reproductivas y degenerativas que estarán presente a lo largo de su vida [Montero et al. 2023]. Los varones pueden verse afectados en el desarrollo testicular desde la etapa fetal, con esta exposición durante el embarazo se pueden desarrollar posteriormente anomalías urogenitales e inclusive cáncer testicular en hombres adultos [Rodprasert et al. 2021].

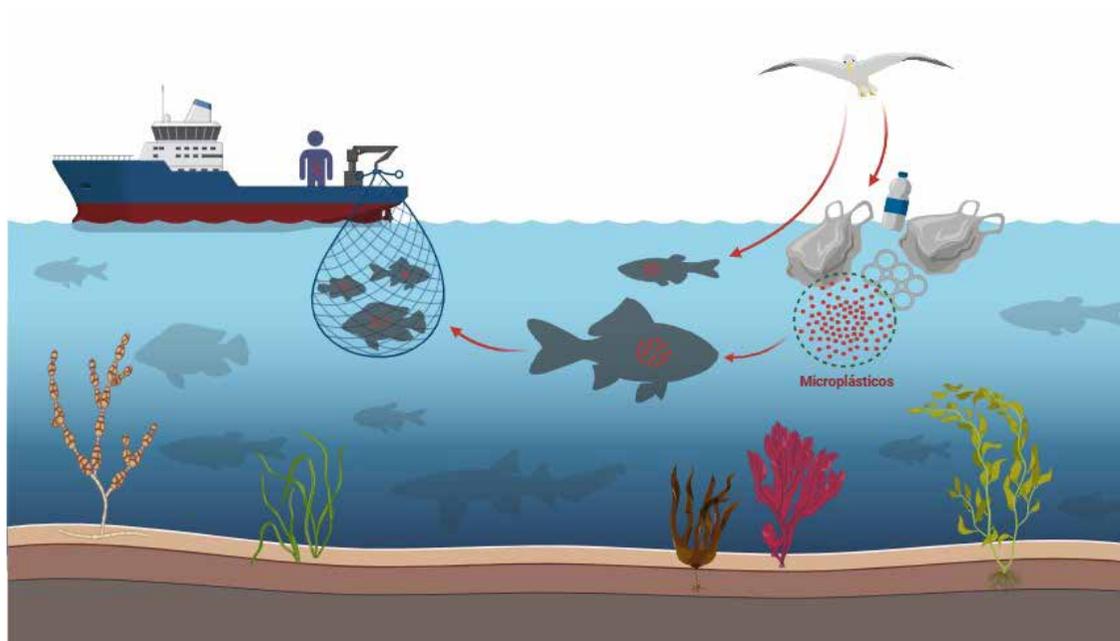


Figura 2. Ingesta de micro plásticos por organismos marinos y su propagación en la cadena trófica.

Desafortunadamente, no solo a través de alimentos de origen animal se obtienen los microplásticos. En 2019 Cox et al., determinaron el consumo anual promedio de microplásticos a través de alimentos como azúcar, miel, sal, alcohol, agua embotellada y de grifo, inclusive a través del aire. Se estima que el consumo anual en niños oscila entre 74,060 a 81,331 micro plásticos, mientras que en adultos es de aproximadamente 121,664 microplásticos aproximadamente. Se estima que una sola persona puede ingerir alrededor de 4 millones de plásticos finos [nano y microplásticos] anualmente a partir de agua potable [Angnunavuri et al. 2023].

## 4

### Estrategias actuales para enfrentar la contaminación, ¿Son eficaces?

Ante la incorrecta y alarmante disposición final de los plásticos, generando a su vez cantidades prácticamente inconmensurables de nano y microplásticos, se ha buscado la implementación de legislaciones y cambios en las políticas para la contención, moderación y separación de plásticos. La acción más común ha sido el reciclaje, pero el resultado no ha sido favorable, ya que el ritmo de producción es mayor que su gestión en su disposición final [Walker y Fequet, 2023]. Por otro lado, los plásticos de uso común como el PET tienen una reciclabilidad limitada; en cuanto al PP, PEHD y PELD, el proceso de reciclaje resulta más costoso debido a su alto consumo energético [Wang et al. 2023].

Se tienen hoy en día tecnologías de limpieza, que buscan que espacios con desechos plásticos queden libre de los mismos. Desafortunadamente no es viable, puesto que los mismos espacios con el tiempo comienza a estar como en un inicio, por lo que para ser rentable es necesario tomar acciones preventivas, como el uso de materiales sostenibles y biodegradables que tengan potencial de reemplazar el plástico [Schmaltz et al. 2020] y, sobre todo, a los plásticos de un solo uso. Actualmente se busca la producción de bioplásticos, ya que presenta dichas características [Helinski et al. 2021].

## 5

## Bioplásticos ¿La respuesta al problema de los residuos plásticos?

Los bioplásticos representan una alternativa al plástico convencional, en principio porque la mayoría son biodegradables y pueden ser producidos por síntesis microbiana a partir de materias primas renovables como almidón, caña de azúcar, soja, etc. Los tres bioplásticos más comunes son el ácido poliláctico (PLA), almidón termoplástico y los polihidroxialcanoatos (PHAs) [Tabla 2].

Biopolímero	Aplicación	Propiedades	Referencia
<b>Polihidroxialcanoatos (PHAs)</b>	En diferentes artículos como vasos, platos y cubiertos desechables, envases de empaque, componentes eléctricos.	Algunos PHAs son hidrosolubles, presentan biocompatibilidad por lo que tienen usos médicos, son biodegradables.	[Albuquerque y Malafaia, 2018]
<b>Almidón</b>	Se pueden encontrar como film translucido, envases de malla, bolsas, empaques.	Son hidrosolubles, presentan biodegradabilidad, y relativamente transparencia.	[Agarwal, 2021]
<b>Ácido poliláctico (PLA)</b>	Disponible en botellas, vasos, laminas, contenedores, ocupado en ingeniería de tejidos.	Son de origen renovable, tienen compatibilidad química y rigidez	[Mehmood et al. 2023]

Tabla 2. Características de bioplásticos biodegradables de base biológica

Normalmente se relaciona a los bioplásticos como alternativas amigables con el ambiente. Aunque no se conoce del todo la potencial huella ambiental que tienen, se esperarían mayores ventajas que desventajas. Si bien, se ha descrito por ejemplo que el plástico derivado de almidón tuvo un efecto negativo en el crecimiento para plantas de trigo, se deben de seguir planteando experimentos para demostrar sus ventajas a largo plazo. En cuanto a los PHAs, hasta el momento algunos estudios indican que su degradación no tiene influencia sobre la actividad de germinación del suelo [Arcos-Hernandez et al. 2012; Qi et al. 2018]. Por lo que se espera aumente su producción de acuerdo con informes de la asociación European Bioplastics, organismo enfocado a el avance y producción de los bioplásticos.

## 6

## El futuro: El potencial del polihidroxibutirato

Entre los tipos de los PHAs más conocidos se encuentran el poli-3-hidroxibutirato (PHB), poli-3-hidroxibutirato-co-4-hidroxibutirato [P(3-HB-co-4-HB)], poli-3-hidroxibutirato-co-valerato (PHBV) [Fuessl et al. 2012]. Su síntesis es posible por varios microorganismos [Figura 3]. Lo principal para su producción, es una fuente de carbono en exceso, que puede provenir de aminoácidos, ácidos grasos o carbohidratos, con un déficit en microelementos como nitrógeno, fosforo, magnesio [Behera et al. 2022; Shah y Kumar, 2021]

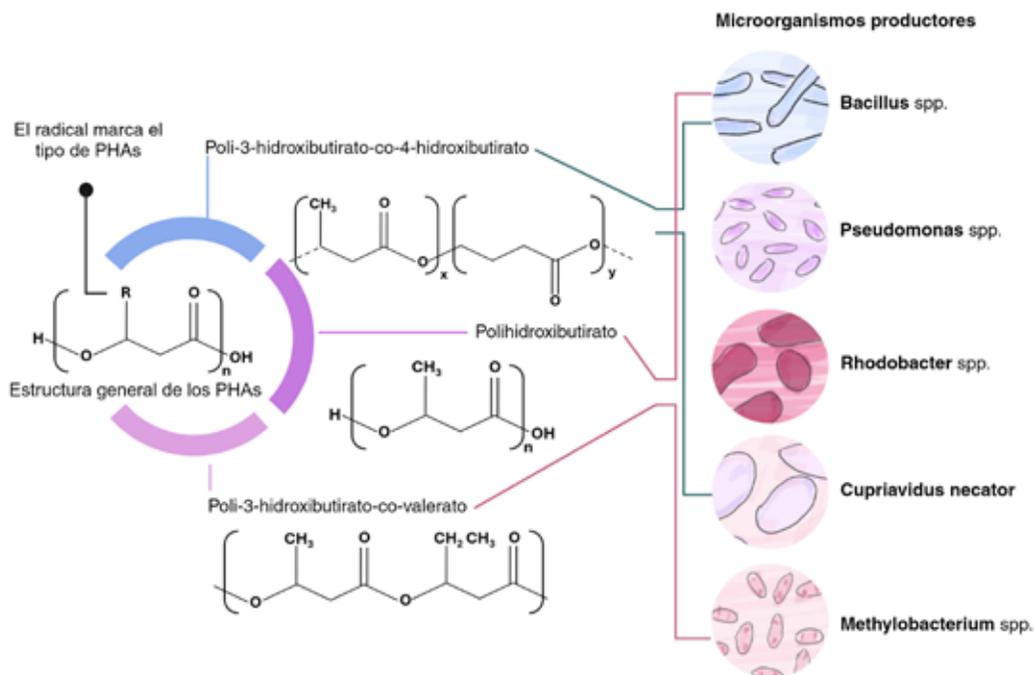


Figura 3. Principales polihidroxicanoatos y microorganismos productores, el radical determina el tipo de PHAs.

Las características del PHB radican en su estructura química, en su síntesis se tiene reacción entre un grupo carbonilo e hidroxilo de dos unidades monoméricas, con un metilo como sustituyente. Tener el metilo, le proporciona características como la temperatura de fusión y un grado de cristalinidad muy parecida al polipropileno, usado normalmente para la fabricación de envases o empaques de alimentos [Raza et al. 2018; Umesh et al. 2021]. Otra de sus aplicaciones se encuentra en el campo médico, formando parte de materiales biocompatibles utilizados en medicina regenerativa, de tejidos o siendo material de soporte, inclusive como válvulas cardiacas [Kola Pratap y Krishnan, 2023]. Por otro lado, también ha sido aplicado en la agricultura, nanotecnología y alimentos [Mostafa et al. 2020]. No obstante, aún es alto el costo total de producción, por lo que es considerado un reto para la industrialización [B. Kim et al. 2023].



## ¿El PHB es un villano o realmente un héroe?

Para la producción de PHAs, el proceso global tiene tres etapas principales. La primera es con respecto a las materias primas, en específico la fuente de carbono que puede ser la más costosa. Su costo afecta al precio final del biopolímero, por lo que hoy en día se han implementado desechos agrícolas, aceites vegetales o inclusive glicerol como fuente de carbono para producirlo [Kanzariya et al. 2023]. La segunda etapa involucra la fermentación, la cual puede realizarse a través de lote, lote alimentado o continuo. Ambos tipos de fermentaciones buscan incrementar la productividad de PHB por medio de materias primas a bajo costo, como aquellas que provienen de desechos agrícolas. No obstante, con una incorrecta estrategia de fermentación se ven expuestas a la contaminación microbiana [Shahhosseini, 2004]. La aplicación de fermentaciones en lote o lote continuo bajo una estrategia de alimentación correcta puede llevar no solo al aumento de la productividad del PHB, sino que a su vez al aumento de la pureza del mismo [Dey y Rangarajan, 2017]

Las últimas etapas son la extracción y purificación, ambas operaciones depende del contenido de biomasa que se presente durante la fermentación. La obtención de resultados óptimos en la purificación está condicionada por la adecuada implementación de la técnica de extracción. En la extracción el uso de solventes es la parte principal, comúnmente son

halógenos como el cloroformo e hipoclorito de sodio, donde ambos tienen un alto potencial de daño ambiental. El PHB, siendo un producto ambientalmente amigable, enfrenta un desafío significativo debido a la alta contaminación generada en la etapa de extracción, la cual es una de las más complicadas en su proceso de producción. [Khatami et al. 2021; Sun et al. 2007]. El PHB presenta un cuello de botella en la parte de extracción donde en los últimos años se han buscado el empleo de los solventes conocidos como verdes tales como etanol, acetato de etilo o tetrahidrofurano, con ello se busca reducir el impacto ambiental [Jayarathna et al. 2022; Kurian y Das, 2021]. A pesar de ello actualmente en 2024 se cuenta con una producción global de 39.70 kilotoneladas, lo cual representa un valor de 144.35 millones de dólares [Mandaokar A, 2024]

Por otro lado, el problema central de los plásticos es su disposición final. El PHB ofrece la ventaja de ser degradado por despolimerasas de PHA, enzimas secretadas por diferentes microorganismos. A nivel laboratorio se ha visto que en un periodo de 10 días es posible degradar al 100%. A su vez en suelos con diferentes tratamientos se ha estudiado su descomposición, evaluándose el cambio en sus propiedades químicas, mecánicas e inclusive en su peso molecular, dando resultados favorables [Kim et al. 2023; Numata et al. 2008; Ren y Ni, 2023].



## Conclusión

El impacto de los plásticos convencionales y su fragmentación a microplásticos representa un alto riesgo a la salud humana. Aunado el problema actual de contaminación ambiental y los efectos en el ecosistema. La búsqueda de encontrar un sustituto de los plásticos petroquímicos es inminente, por lo que el PHB presenta un panorama prometedor. Sin embargo, la producción a nivel industrial es reducida. Los métodos de producción actuales presentan bajos rendimientos y los procesos de extracción y purificación aun representan una problemática a resolver. A pesar de ello, se han ido presentando diferentes posibilidades para hacer el proceso más redituable y amigable con el ambiente, siendo uno de los enfoques principales en los últimos años. En definitiva, el PHB no es un villano, es un héroe en potencia que requiere adecuaciones en su camino a reemplazar los plásticos.

## Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN Unidad Tlaxcala), el Instituto Politécnico Nacional (Proyecto SIP20242318) y el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología [Becario CONAHCYT 1268180]

Agarwal S [2021]. Major factors affecting the characteristics of starch based biopolymer films. *European Polymer Journal*, 160, 110788. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110788>

Albuquerque PBS, Malafaia CB [2018]. Perspectives on the production, structural characteristics and potential applications of bioplastics derived from polyhydroxyalkanoates. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 615–625. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.026>

Angunavuri PN, Attigbe F, Mensah B [2023]. Particulate plastics in drinking water and potential human health effects: Current knowledge for management of freshwater plastic materials in Africa. *Environmental Pollution*, 316, 120714. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120714>

Arcos-Hernandez M V, Laycock B, Pratt S, Donose B C, Nikolić M A L, Luckman P, Werker A, Lant P A [2012]. Biodegradation in a soil environment of activated sludge derived polyhydroxyalkanoate (PHBV). *Polymer Degradation and Stability*, 97 (11), 2301–2312. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.07.035>

Aytan Ü, Başak Esensoy F, Şentürk Y, Güven O, Karaoğlu K, Erbay M [2023]. Plastic occurrence in fish caught in the highly industrialized Gulf of Izmit [Eastern Sea of Marmara, Türkiye]. *Chemosphere*, 324, 138317. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138317>

Behera S, Priyadarshane M, Vandana Das S [2022]. Polyhydroxyalkanoates, the bioplastics of microbial origin: Properties, biochemical synthesis, and their applications. *Chemosphere*, 294, 133723. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133723>

Bergmann M, Almroth B C, Brander S M, Dey T, Green D S, Gundogdu S, Krieger A, Wagner M, Walker T R [2022]. A global plastic treaty must cap production. *Science*, 376 (6592), 469–470. <https://doi.org/10.1126/science.abq0082>

Chamas A, Moon H, Zheng J, Qiu Y, Tabassum T, Jang J H, Abu-Omar M, Scott S L, Suh S [2020]. Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(9), 3494–3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>

Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE [2019]. Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53(12), 7068–7074. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>

Dey P, Rangarajan V [2017]. Improved fed-batch production of high-purity PHB [poly-3 hydroxybutyrate] by *Cupriavidus necator* [MTCC 1472] from sucrose-based cheap substrates under response surface-optimized conditions. *3 Biotech*, 7(5), 310. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0948-6>

Elhacham E, Ben-Uri L, Grozovski J, Bar-On YM, Milo R [2020]. Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature*, 588(7838), 442–444. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>

Fuessl A, Yamamoto M, Schneller A [2012]. Opportunities in Bio-Based Building Blocks for Polycondensates and Vinyl Polymers. In *Polymer Science: A Comprehensive Reference* [pp. 49–70]. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00132-1>

Helinski OK, Poor CJ, Wolfand JM [2021]. Ridding our rivers of plastic: A framework for plastic pollution capture device selection. *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112095. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112095>

Jayarathna S, Andersson M, Andersson R [2022]. Recent Advances in Starch-Based Blends and Composites for Bioplastics Applications. *Polymers*, 14(21), 4557. <https://doi.org/10.3390/polym14214557>

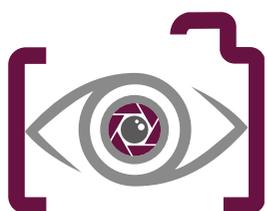
Kanzariya R, Gautam A, Parikh S, Shah M, Gautam S [2023]. Formation of polyhydroxyalkanoates using agro and industrial waste as a substrate – a review. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 1–40. <https://doi.org/10.1080/02648725.2023.2165222>

- Khatami K, Perez-Zabaleta M, Owusu-Agyeman I, Cetecioglu Z [2021]. Waste to bioplastics: How close are we to sustainable polyhydroxyalkanoates production? *Waste Management*, 119, 374–388. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.008>
- Kim B, Oh SJ, Hwang JH, Kim HJ, Shin N, Bhatia SK, Jeon JM, Yoon JJ, Yoo J, Ahn J, Park JH, Yang YH. [2023]. Polyhydroxybutyrate production from crude glycerol using a highly robust bacterial strain *Halomonas* sp. YLGW01. *International Journal of Biological Macromolecules*, 236, 123997. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123997>
- Kim J, Gupta NS, Bezek LB, Linn J, Bejagam KK, Banerjee S, Dumont JH, Nam SY, Kang HW, Park CH, Pilania G, Iverson CN, Marrone BL, Lee KS [2023]. Biodegradation Studies of Polyhydroxybutyrate and Polyhydroxybutyrate-co-Polyhydroxyvalerate Films in Soil. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 7638. <https://doi.org/10.3390/ijms24087638>
- Kola Pratap J, Krishnan K [2023]. Microbial Production of Polyhydroxyalkanoates [Bioplastic] using Cheap Household Waste Resources and Their Biomedical Applications: A Systematic Review. *Letters in Applied NanoBioScience*, 12(4), 1–14.
- Kurian NS, Das B [2021]. Comparative analysis of various extraction processes based on economy, eco-friendly, purity and recovery of polyhydroxyalkanoate: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1881–1890. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.007>
- Mandaokar A [2024]. Polyhydroxyalkanoate Market Research Report Information by Type (Polyhydroxybutyrate and Polyhydroxyvalerate), by Application (Biomedical, Packaging, Drug Delivery Carriers, Biofuels and others), by Technology (Genetically Engineered Plants and Genetically Engineered Bacteria) [online]. Market research future. Available from: [https://www.marketresearchfuture.com/reports/polyhydroxyalkanoate-market-4621?utm\\_term=&utm\\_campaign=&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=2893753364&hsa\\_cam=20269362920&hsa\\_grp=148912616334&hsa\\_ad=661977011274&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=dsa-2089395924464&hsa\\_kw=&hsa\\_mt=&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gad\\_source=1](https://www.marketresearchfuture.com/reports/polyhydroxyalkanoate-market-4621?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=2893753364&hsa_cam=20269362920&hsa_grp=148912616334&hsa_ad=661977011274&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-2089395924464&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1)
- Mehmood A, Raina N, Phakeenuya V, Wonganu B, Cheenkachorn, K [2023]. The current status and market trend of polylactic acid as biopolymer: Awareness and needs for sustainable development. *Materials Today: Proceedings*, 72, 3049–3055. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.387>
- Melchor-Martinez EM, Macias-Garbett R, Alvarado-Ramirez L, Araujo RG, Sosa-Hernandez JE, Ramirez-Gamboa D, Parra-Arroyo L, Alvarez AG, Monteverde RPB, Cazares KAS, Reyes-Mayer A, Yañez Lino M, Iqbal HMN, Parra-Saldivar R [2022]. Towards a Circular Economy of Plastics: An Evaluation of the Systematic Transition to a New Generation of Bioplastics. *Polymers*, 14(6), 1203. <https://doi.org/10.3390/polym14061203>
- Montero V, Chinchilla Y, Gómez L, Flores A, Medaglia A, Guillén R, Montero E [2023]. Human health risk assessment for consumption of microplastics and plasticizing substances through marine species. *Environmental Research*, 237, 116843. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116843>
- Mostafa YS, Alrumman SA, Otaif KA, Alamri SA, Mostafa MS, Sahlabji T [2020]. Production and Characterization of Bioplastic by Polyhydroxybutyrate Accumulating *Erythrobacter aquimaris* Isolated from Mangrove Rhizosphere. *Molecules*, 25(1), 179. <https://doi.org/10.3390/molecules25010179>
- Nguyen LH, Nguyen BS, Le DT, Alomar TS, AlMasoud N, Ghotekar S, Oza R, Raizada P, Singh P, Nguyen VH [2023]. A concept for the biotechnological minimizing of emerging plastics, micro- and nano-plastics pollutants from the environment: A review. *Environmental Research*, 216, 114342. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114342>
- Numata K, Abe H, Doi Y [2008]. Enzymatic processes for biodegradation of poly(hydroxyalkanoate)s crystals. *Canadian Journal of Chemistry*, 86(6), 471–483. <https://doi.org/10.1139/v08-004>
- Parashar N, Hait S [2021]. Plastics in the time of COVID-19 pandemic: Protector or polluter? *Science of The Total Environment*, 759, 144274. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144274>
- Priya AK, Jalil AA, Dutta K, Rajendran S, Vasseghian Y, Qin J, Soto-Moscoso M [2022]. Microplastics in the environment: Recent developments in characteristic, occurrence, identification and ecological risk. *Chemosphere*, 298, 134161. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134161>
- Qi Y, Yang X, Pelaez AM, Huerta Lwanga E, Beriot N, Gertsen H, Garbeva P, Geissen V [2018]. Macro- and micro- plastics in soil-plant system: Effects of plastic mulch film residues on wheat (*Triticum aestivum*) growth. *Science of The Total Environment*, 645, 1048–1056. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.229>
- Raza ZA, Riaz S, Banat IM [2018]. Polyhydroxyalkanoates: Properties and chemical modification approaches for their functionalization. *Biotechnology Progress*, 34(1), 29–41. <https://doi.org/10.1002/btpr.2565>
- Ren SY, Ni HG [2023]. Biodeterioration of Microplastics by Bacteria Isolated from Mangrove Sediment. *Toxics*, 11(5), 432. <https://doi.org/10.3390/toxics11050432>
- Rodprasert W, Toppari J, Virtanen HE [2021]. Endocrine Disrupting Chemicals and Reproductive Health in Boys and Men. *Frontiers in Endocrinology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.706532>
- Ronkay F, Molnar B, Gere D, Czigany T [2021]. Plastic waste from marine environment: Demonstration of possible routes for recycling by different manufacturing technologies. *Waste Management*, 119, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.029>
- Schmaltz E, Melvin EC, Diana Z, Gunady EF, Rittschof D, Somarelli JA, Virdin J, Dunphy-Daly MM [2020]. Plastic pollution solutions: emerging technologies to prevent and collect marine plastic pollution. *Environment International*, 144, 106067. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106067>
- Shah S, Kumar A [2021]. Production and characterization of polyhydroxyalkanoates from industrial waste using soil bacterial isolates. *Brazilian Journal of Microbiology*, 52(2), 715–726. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00452-z>
- Shahhosseini S [2004]. Simulation and optimisation of PHB production in fed-batch culture of *Ralstonia eutropha*. *Process Biochemistry*, 39(8), 963–969. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00209-7](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00209-7)
- Sun Z, Ramsay JA, Guay M, Ramsay BA [2007]. Fermentation process development for the production of medium-chain-length poly-3-hydroxyalkanoates. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 75(3), 475–485. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-0857-4>
- Trakunjae C, Boondaeng A, Apiwatanapiwat W, Janchai P, Neoh SZ, Sudesh K, Vaithanomsat P [2023]. Statistical optimization of P[3HB-co-3HHx] copolymers production by *Cupriavidus necator* PHB-4/pBBR\_CnPro-phaC<sub>RP</sub> and its properties characterization. *Scientific Reports*, 13(1), 9005. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36180-7>
- Umesh M, Sankar SA, Thazeem B [2021]. Fruit Waste as Sustainable Resources for Polyhydroxyalkanoate (PHA) Production. In *Bioplastics for Sustainable Development* (pp. 205–229). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-1823-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-16-1823-9_7)
- Vicente D, Proença DN, Morais PV [2023]. The Role of Bacterial Polyhydroxyalkanoate (PHA) in a Sustainable Future: A Review on the Biological Diversity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 2959. <https://doi.org/10.3390/ijerph20042959>
- Walker TR, Fequet L [2023]. Current trends of unsustainable plastic production and micro(nano)plastic pollution. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 160, 116984. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.116984>
- Wang Q, Zhang C, Li R [2023]. Plastic pollution induced by the COVID-19: Environmental challenges and outlook. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(14), 40405–40426. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24901-w>
- Webb HK, Arnott J, Crawford J, Ivanova EP [2013]. Plastic Degradation and Its Environmental Implications with Special Reference to Poly(ethylene terephthalate). *Polymers*, 2013; 5(1):1-18. <https://doi.org/10.3390/polym5010001>

# Relatoría

## “El significado de una imagen puede expresar diez mil palabras”

*proverbio chino*



La fotografía es una técnica mediante la cual se obtienen imágenes a través de la acción de la luz u otras formas de energía radiante o a través de la conversión de señales electrónicas. El ser humano, desde su infancia hace uso de ilustraciones e imágenes para aprender y obtener información que a simple vista nos podría pasar desapercibida. Ahora, con la gran sofisticación de la tecnología, se pueden obtener desde imágenes nanométricas para observar moléculas (con el uso de microscopía electrónica), hasta imágenes de galaxias a años luz de nuestro planeta (con la ayuda de telescopios espaciales). Las fotografías que acompañan a un trabajo científico, ya sea el artículo en una revista, un libro, un reporte de resultados o en una presentación para un evento, son llamadas fotografías científicas y nos ayudan a transmitir de mejor manera lo que queremos mostrar y hace que el lector o espectador lo comprenda más fácilmente, además de que es una herramienta excelente para validar un resultado.

La fotografía científica es una herramienta poderosa para los investigadores, ya que con su ayuda registran, complementan y difunden sus trabajos científicos, lo cual es esencial para el avance de la educación, la ciencia y la tecnología.

En el marco del vigésimo aniversario del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, se llevó a cabo un concurso de fotografía científica entre los miembros de la comunidad a fin de dar difusión y conocer imágenes que profesores y estudiantes obtienen a través de su trabajo en laboratorio.

La gran calidad de las obras recibidas hizo de la evaluación todo un reto para el comité evaluador, las diferencias de las evaluaciones realizadas a las obras que obtuvieron los 5 primeros puestos fueron de apenas décimas.

En este número de la revista Frontera Biotecnológica se presentan las 5 fotografías que obtuvieron los puntajes más altos, así como una breve descripción que el autor realizó de su obra. Enhorabuena para todos los participantes del concurso.

**Dr. Miguel Angel Plascencia Espinosa**  
Coordinador del 1er concurso de fotografía científica CIBA 2024  
CIBA-IPN





## El Helecho de Película: Transparencia y Resiliencia

*Pablo Denova Lozano*

Descriptivo

¿Qué capturaste?

Se observa un acercamiento a la fronda de un helecho del género *Hymenophyllum* en campo, que exhibe sus soros en desarrollo en los márgenes de las pinnas. En la fotografía se observa como estos helechos presentan frondas extremadamente delgadas y membranosas, formadas por una sola capa de células. La fotografía refleja no solo la belleza estructural de estos helechos, sino también su adaptación evolutiva a su entorno. La disposición en los márgenes maximiza la dispersión de las esporas por el viento o el agua, facilitando la colonización de nuevos espacios y asegurando la supervivencia de la especie.

Descripción artística de la fotografía

¿Qué significa para ti la fotografía capturada?

Para mí refleja lo impresionante que puede ser la naturaleza cuando nos detenemos a observarla más de cerca.



## Las estrellas en sus ojos

Rosalía de la Ascención Pérez y Soto

Descriptivo  
¿Qué capturaste?

Los anuros son el grupo más abundante de anfibios a nivel mundial y con mayor número de especies, tienen una gran importancia biológica, ya que prestan diversos servicios ecosistémicos, por ejemplo, son indicadores ambientales y controladores de plagas transmisoras de enfermedades a humanos. Su piel, está suministrada con glándulas que producen una gran variedad de secreciones, como los péptidos; que son efectivos contra patógenos, y proveen una inmensa selección de antibióticos que se podrían usar para combatir infecciones en humanos. Los péptidos antimicrobianos [AMP's] tienen un importante papel en la protección contra patógenos como el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*; uno de los principales causantes del declive de anfibios en el mundo. Además de los AMP's, un microbioma cutáneo protector es uno de los más importantes factores que brindan resistencia contra este y otros patógenos como bacterias o virus. El estudio de los péptidos antimicrobianos de la piel de los anfibios podría aportar nuevos métodos de producción de péptidos naturales con actividad antimicrobiana. Por otro lado, el análisis y descripción de la microbiota asociada a la piel de los anfibios, podría aportar elementos aún desconocidos con potencial biotecnológico. Para poder hacer este tipo de estudios, es necesario ir al hábitat natural de los organismos y hacer búsquedas en campo para poder tomar las muestras por medio de frotis cutáneos y coleccionar las secreciones por medio de estimulación eléctrica. El ejemplar de la fotografía es un individuo de la especie *Agalychnis dacnicolor* el cuál posteriormente fue capturado para poder tomar las muestras antes mencionadas y posteriormente liberado en el sitio de colecta. Es importante mencionar, que la conservación de los anfibios es de gran importancia incluso para los seres humanos, pues donde hay anfibios, hay un ecosistema sano, si un día llegan a desaparecer es posible que la humanidad esté también en peligro.

Descripción artística de la fotografía  
¿Qué significa para ti la fotografía capturada?

Los anfibios siempre han tenido mi admiración, pues considero que son unos organismos muy bellos y a veces incomprensidos e incluso estigmatizados. El poder trabajar con ellos y tener un aporte científico me hace muy feliz, pues creo firmemente que ellos tienen mucho que ofrecer a la humanidad y nosotros como humanos deberíamos devolverles el favor cuidando el ecosistema de todas las formas posibles y a veces cuando los escuchemos cantar por las noches debemos sentirnos agradecidos y detenernos a disfrutar de su canto, pues en la actualidad es difícil encontrarlos por todo el daño que como humanos hemos hecho a sus hábitats. La rana de la foto, es una de mis ranas favoritas, pues el verde intenso de su piel y sus ojos, considero que son dignos de admirar, además de ser una especie nativa y endémica de México.

## Inmovilizando a la vida

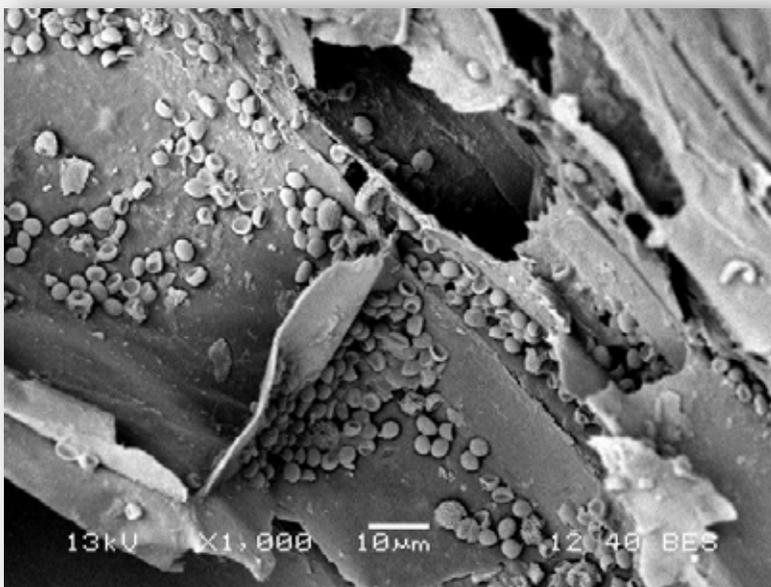
Angelica Moreno Montaña, Rita Karen Pacheco Y  
MaraPaola Vazquez Corona

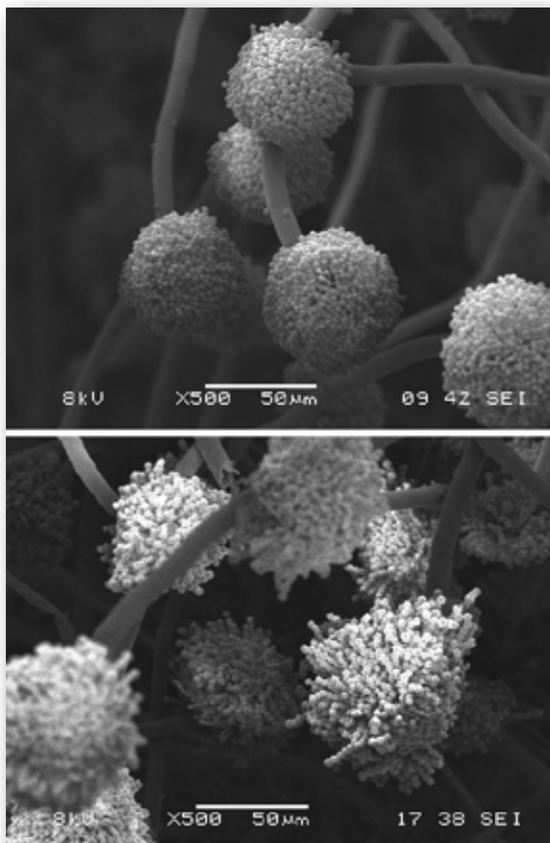
Descriptivo  
¿Qué capturaste?

Microscópica electrónica de barrido del inmovilizado de esporas de un consorcio fúngico sobre residuo agroindustrial cebada.

Descripción artística de la fotografía  
¿Qué significa para ti la fotografía capturada?

Es un claro ejemplo de cómo los microorganismos pueden sobrevivir a condiciones adversas adhiriéndose a matrices orgánicas como los residuos orgánicos y que sin duda la vida puede surgir en donde se pueda.





## Perdiendo estructuras

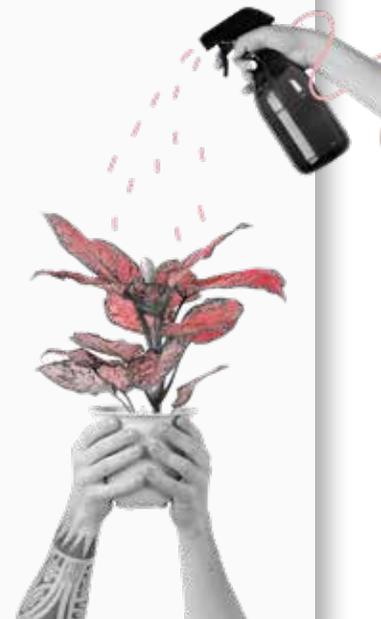
José Luis Torres García

Descriptivo  
¿Qué capturaste?

La fotografía que a continuación se muestra es el claro ejemplo del efecto que produce la exposición a fenantreno y pireno en el desarrollo de conidios del hongo *Aspergillus niger*, donde se puede observar en la parte superior de la imagen conidióforos con filídes completamente expuestas y ausencia de conidios. La imagen inferior muestra un conidióforo habitualmente normal.

Descripción artística de la fotografía  
¿Qué significa para ti la fotografía capturada?

Poder demostrar lo que ocurre en la microbiota del suelo con los derrames de creosota, crudo o diesel.



## Preantesis en flor de *Amaranthus cruentus*

Isai Jese Flores Lima

Descriptivo  
¿Qué capturaste?

Fotografía donde se logran observar los tres estadios principales de floración de *Amaranthus cruentus*; anthesis al fondo (desenfocado), Preantesis (enfoque principal), botones florales (derecha), los tépalos abren para poder mostrar a las anteras con sus cinco esporangios.

Descripción artística de la fotografía  
¿Qué significa para ti la fotografía capturada?

"Es tu tiempo, sin importar adversidades ante cualquier panorama, si llega la hora no importa nada, es momento de florecer, crecer, y demostrar el esplendor que la vida misma nos permite revelar, aunque sea un solo efímero momento lo haré mío y será la gran muestra de la magnificencia del universo."



Jornadas Académicas del  
Doctorado en Ciencias  
en Biotecnología-IPN  
XXVIII

# MEMORIAS

**XXVIII Jornadas Académicas del Doctorado en Ciencias en Biotecnología**

Cancún, Quintana Roo, 7 y 8 de octubre del 2024.



- 
- 92** MEJORA DEL DESEMPEÑO DE UN HUMEDAL EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES USANDO LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)
- 93** EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS QUÍMICOS Y FUNCIONALES EN GARBANZO (*Cicer arietinum* L.) PROVOCADOS POR LA GERMINACIÓN
- 94** CARACTERIZACIÓN DEL HONGO DEL MAGUEY (*Pleurotus agaves*) CULTIVADO EN SUBPRODUCTO DE MEZCAL
- 95** DISEÑO IN SILICO, SINTESIS, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN BIOLÓGICA EN LA LINEA CELULAR DE GLIOBLASTOMA U373 DE ANÁLOGOS DE LA PEREZONA SINTETIZADOS POR QUÍMICAS VERDES
- 96** DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MATERIALES A BASE DE POLÍMEROS Y SU APLICACIÓN EN LA ENDODONCIA REGENERATIVA
- 97** ANÁLISIS TRANSCRIPTÓMICO DE CÉLULAS MESENQUIMALES DEL ENDOTELIO VASCULAR PULMONAR DE RATAS ESPONTÁNEAMENTE HIPERTENSAS
- 98** GENOMIC AND ENZYMATIC ANALYSIS OF MICROORGANISMS CAPABLE OF DEGRADING LOW-DEGRADING AND RECALCITRANT PLASTICS
- 99** REDIRECCIÓN DEL METABOLISMO DE *Fusarium fujikuroi* PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO Y OTROS METABOLITOS
- 100** NANOENCAPSULAMIENTO DE EXTRACTOS DE *BYRSONIMA CRASSIFOLIA* CON ACTIVIDAD ANTIPROLIFERATIVA Y APOPTÓTICA EN EL TRATAMIENTO DEL ADENOCARCINOMA GÁSTRICO
- 101** DISEÑO DE UNA MEMBRANA ETNOFARMACOLÓGICA: PROPIEDADES Y APLICACIONES PRODUCCIÓN DE HERNANDULCINA POR MÉTODOS BIOTECNOLÓGICOS
- 102** GENERACIÓN DE BIOSENSORES COLOIDALES PARA LA DETECCIÓN DE *Helicobacter pylori* EN MUESTRAS DE PACIENTES
- 103** MOVILIDAD DE BACTERIAS DEPRIDADORAS EN PLÁNTULAS DE NARANJO AGRIO
- 104** INTERACCIÓN ENTRE BIOESTIMULANTES A BASE DE QUITOSANO, TRICHODERMA, BACILLUS Y EXTRACTOS DE ALGAS EN CULTIVO DE TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICON*)
- 105** APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS BIOTECNOLÓGICAS PARA DISMINUIR LA CARGA DEL VIRUS DE LA NECROSIS INFECCIOSA HIPODÉRMICA Y HEMATOPOYÉTICA (IHHNV) DE CAMARONES (*PENAEUS VANNAMEI*)
- 106** PRODUCCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS BIOPOLÍMEROS CON ACTIVIDAD SURFACTANTE PRODUCIDOS POR MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA RÍA LAGARTOS (YUCATÁN, MÉXICO)
- 107** ANÁLISIS METAGENÓMICO DEL RESISTOMA BACTERIANO EN RÍOS Y ÁREAS COSTERAS DE TAMAULIPAS
- 108** CAPACIDAD ANTAGONISTA *in vitro* DE LA LEVADURA *Meyerozyma guilliermondii* LCBG-03 CONTRA

- 109** HONGOS *Penicillium* SPP. PATÓGENOS DE LIMÓN
- 110** EVALUACIÓN DEL PERFIL QUÍMICO DEL MEZCAL ASOCIADO A LA ÉPOCA DEL AÑO, PERFIL MICROBIANO Y ESPECIE DE *Agave* DE TRES VINATAS DEL ESTADO DE DURANGO
- 111** MOLECULAR MECHANISM OF OTOTOXICITY AS A SIDE EFFECT OF ANTIBIOTICS
- 112** ANALYSIS OF THE HSC NICHE IN SHR RATS
- 113** ESTUDIO ESTRUCTURAL DE ISOFORMAS DE LA TRIPSINA DIGESTIVA DE CAMARÓN *PENAEUS VANNAMEI*
- 114** DISEÑO DE UN DETECTOR C4D PARA LA CUANTIFICACIÓN DE METFORMINA EN AGUA DURANTE SU DEGRADACIÓN POR PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA
- 115** PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO BIOMECÁNICO Y EVALUACIÓN CLÍNICA/MOLECULAR DE LA OSTEointegración EN IMPLANTES DENTALES MEDIANTE EL MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO
- 116** EVALUACIÓN DE FORMULACIONES DE *BEAUVERIA BASSIANA*, *ISARIA FUMOSOROSEA* Y *METARHIZIUM ANISOPLIAE* PARA EL CONTROL DE TRIPS EN ARÁNDANO
- 117** OBTENCIÓN DE METABOLITOS SECUNDARIOS DE INTERÉS FARMACÉUTICO PRODUCIDOS POR BACTERIAS AISLADAS DE AMBIENTES EXTREMOS
- 118** ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ACTIVIDADES BIOLÓGICAS DE ARÁNDANOS SILVESTRES [*Vaccinium* sp.] RECOLECTADOS EN MICHOACÁN
- 119** DISEÑO RACIONAL DE INHIBIDORES DE LA ENOLASA DE ENTAMOEBA HISTOLYTICA
- 120** IDENTIFICACIÓN DE MODULADORES GENÉTICOS QUE REGULAN LA DINÁMICA DE INTERCAMBIO DE HIERRO Y NITRÓGENO DE MAÍZ CRIOLLO CULTIVADO BAJO EL SISTEMA MILPA EN EL NORTE DE SINALOA
- 121** EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TIRAPAZAMINA EN LA RESOLUCIÓN DEL ABSCESEO HEPÁTICO AMEBIANO CARACTERIZACIÓN FITOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIHIPERGLUCEMIANTE Y TOXICOLÓGICA DEL EXTRACTO DE *Agave durangensis* Gentry
- 122** CARACTERIZACIÓN FITOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIHIPERGLUCEMIANTE Y TOXICOLÓGICA DEL EXTRACTO DE *Agave durangensis* Gentry
- 123** EVALUACIÓN DEL EFECTO ANTIHIPERGLUCEMIANTE DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE *Fouquieria* sp. MEDIANTE ENSAYOS IN VITRO E IN VIVO
- 124** EFECTO DEL USO DE HOJAS DE AGAVE Y MEZCLA DE CONCENTRADOS DE PROTEÍNA EN ALIMENTOS FORMULADOS PARA JUVENILES DE CAMARÓN BLANCO *Penaeus vannamei*
- 125** EVALUACIÓN DE LIGANDOS DIRIGIDOS CONTRA LAS PROTEÍNAS HUMANAS EGFR (HER1), BCL-2 Y BAX PARA EL TRATAMIENTO DE CÁNCER DE MAMA TRIPLE NEGATIVO
- 126** IDENTIFICACIÓN DE VARIANTES EN EL GEN CYP2D6 PREDICTORAS DEL FENOTIPO DE DEXTROMETORFANO EN POBLACIÓN INDÍGENA MEXICANA
- 127** DETERMINACIÓN DEL MECANISMO DE SORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN MODELOS DE AGUA UTILIZANDO ASTILLAS DE MADERA MODIFICADAS
- 128** ANALISIS DE LA RESPUESTA METABÓLICA INDUCIDA EN EL PROCESO DE INTERACCIÓN DE LOS HONGOS *Pleurotus ostreatus* Y *Aspergillus flavus*

- 129** CARACTERIZACION FUNCIONAL DE lncRNAs EN LA DIFERENCIACION DE SUBTIPOS DE CANCER DE MAMA
- 130** EFECTOS ANTITUMORALES DE CICER ARIETINUM EN UN MODELO MURINO DE CÁNCER DE MAMA BIOLUMINISCENTE 4T1-FFLUC-2H11
- 131** EL CULTIVO 3D DE CÁNCER DE MAMA TRIPLE NEGATIVO REPRODUCE LA EXPRESIÓN DE RNAs LARGOS NO CODIFICANTES ASOCIADOS A LA ONCOGÉNESIS
- 132** HIDROLIZADO DE CAMARONES INFECTADOS CON VIRUS DE LA MANCHA BLANCA (WSSV) ADICIONADO EN LA DIETA COMO INDUCTOR DE RESISTENCIA CONTRA ENFERMEDADES VIRALES EN CAMARÓN BLANCO (*Penaeus Vannamei*)
- 133** ELUCIDACIÓN DE LA FUNCIÓN DE AHY-MIR160 Y AHY-MIR397 EN LA RESPUESTA A ESTRÉS ABIÓTICO EN AMARANTO PARA SU POSIBLE USO AGROBIOTECNOLÓGICO
- 134** DESARROLLO DE UN BIOSENSOR COLOIDAL PARA LA DETECCIÓN DE METALES PESADOS
- 135** THE EFFECT OF NATURAL COMPOUND ON CANCER CELL DEATH AND INVASION INHIBITION
- 136** ESTUDIO ÓMICO DE MOLECULAS ASOCIADAS A QUORUM SENSING EN UN CONSORCIO MICROBIANO CON POTENCIAL PARA LA DEGRADACIÓN DE MICROPARTÍCULAS DE PET
- 137** ANÁLISIS TRANSCRIPTÓMICO DE ADIPOCITOS DE MÉDULA ÓSEA DE RATAS ESPONTÁNEAMENTE HIPERTENSAS
- 138** EVALUACIÓN DE UN FILTRO PERCOLADOR PARA LA DEGRADACIÓN DE COLORANTES SINTÉTICOS POR *Halomonas* sp. UTILIZANDO RESIDUOS FORESTALES COMO SOPORTE Y FUENTE DE MEDIADORES REDOX
- 139** ESTUDIO FUNCIONAL DE PROPIEDADES BIOACTIVAS DE EXTRACTOS DE SETAS
- 140** COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE LA HARINA DE CHAPULINES (*SPHENARIUM PURPURASCENS*) ALIMENTADOS CON DIFERENTES CULTIVOS EN TLAXCALA
- 141** DINÁMICA ESTRUCTURAL Y ACUMULATIVA DE CARBOHIDRATOS DE *Agave durangensis* Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES FUNCIONALES
- 142** EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EMPLEANDO BIOINDICADORES Y SENSORES EN LA CIUDAD DE DURANGO, MÉXICO
- 143** FORMULACIÓN DE NANOEMULSIONES DE EXTRACTOS DE RESIDUOS FORESTALES PARA EL CONTROL DE FITOPATÓGENOS DEL CULTIVO DE MAÍZ
- 144** ANTIMICROBIAL RESISTANCE, CHARACTERIZATION, AND MOLECULAR ANALYSIS OF ESKAPE GROUP STRAINS FROM THE HYDROLOGIC SUBREGION OF RIO SOTO LA MARINA, TAMAULIPAS

## MEJORA DEL DESEMPEÑO DE UN HUMEDAL EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES USANDO LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

Alan Garduño Montero, Celestino Odin Rodríguez Nava\*, José Bernardo Proal Nájera

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Ingeniería en Sistemas Ambientales.

crodriguez@ipn.mx

Palabras clave: Humedal, Diclofenaco, CFD, hidrodinámica, difusión

**Introducción.** Los contaminantes emergentes (CE) son compuestos de naturaleza química sin regulación que se liberan en matrices ambientales y provocan afectaciones a la salud vegetal, animal y humana. Los fármacos, constituyen un caso particular de CE, especialmente el Diclofenaco, debido a su uso intensivo en humanos y ganado. Una de las estrategias de remoción de CE, son los humedales construidos, los cuales se basan en el principio de transferencia de masa y la acción sinérgica de agentes biológicos y fenómenos físicos como difusión y filtración, para el tratamiento de aguas residuales y la remoción de contaminantes. A pesar de su eficacia, los humedales construidos enfrentan problemas hidrodinámicos y difusivos los cuales pueden ser tratados bajo el enfoque de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) [1]. La CFD es una técnica que se basa en el uso de métodos numéricos para la simulación de fenómenos de transporte. El objetivo del presente estudio consiste en la mejora del desempeño de un humedal construido en la remoción de Diclofenaco rediseñando un sistema existente con base en el estudio de la hidrodinámica y difusión de especies utilizando la CFD, cuyo avance abarcó las etapas de validación del modelo matemático, el estudio numérico y la medición del fármaco mediante espectrofotometría.

**Metodología.** Para la validación del modelo matemático se empleó el estudio llevado a cabo por Rajabzadeh et al. en 2015 usando el modelo de Brinkman para la caracterización hidrodinámica, así mismo se establecieron las ecuaciones de movimiento para la fase dispersa bajo los enfoques Euleriano y Lagrangiano [2]. Posteriormente se configuró el resolutor numérico de acuerdo con las condiciones de frontera para el humedal construido, el diseño de malla de geometría compleja y el procesamiento de los datos a través del Software CFD COMSOL Multiphysics®. Por otro lado, se implementó un estudio  $CL_{50}$  para determinar las concentraciones límite de *Phragmites australis* (PA), con concentraciones de 10, 20, 30 y 40 mg/ml de Diclofenaco durante 35 días.

**Resultados y discusión.** Mediante un barrido paramétrico se obtuvo la velocidad de entrada al humedal y el perfil de velocidades de difusión con un error promedio menor al 1.6% comparado con lo reportado en el modelo de Rajabzadeh. Posteriormente, se realizó la formulación del modelo numérico y la simulación, obteniendo un mínimo de 380k elementos discretos poligonales para el cálculo numérico con un error relativo entorno al 0.015%. Para la simulación del comportamiento hidrodinámico del humedal construido, se determinó un campo de velocidades para una condición de flujo influenciada por la acción gravitatoria con una velocidad promedio de fluido de  $7.92 \times 10^{-5}$  (m/s) obtenida mediante un modelo RANS k- $\epsilon$ . El modelo Lagrangiano permitió determinar la cantidad de partículas retenidas en el sustrato de tezontle con una condición porosa de diferentes granulometrías, con una retención acumulada del 93% para 30 días de tiempo físico simulado (Figura 1).

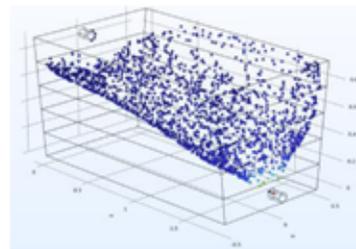


Figura 1. Simulación de la retención de partículas de Diclofenaco en el humedal construido.

Para la estimación del crecimiento normalizado, los resultados preliminares no muestran inhibiciones en el crecimiento del *Phragmites australis* en todos los casos de exposición (Figura 2).

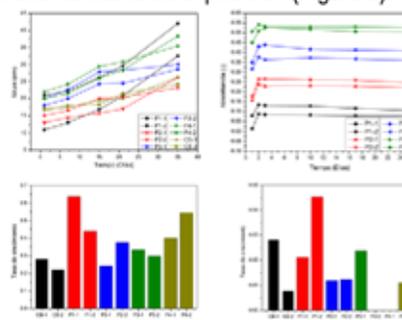


Figura 2. Evaluación del efecto de la concentración sobre la tasa de crecimiento del PA.

### Conclusiones y perspectivas.

La simulación CFD es capaz de aportar información relevante sobre la hidrodinámica del sistema y la retención del contaminante objetivo en el medio poroso. La adición del modelo de la transferencia de masa mejorará la capacidad de predicción del comportamiento del Diclofenaco en el modelo robusto. El comportamiento del PA en presencia de Diclofenaco, coincide con el estudio presentado por Francini en 2018, donde se observa baja incidencia del fármaco en la tasa de crecimiento de la planta y se determina su potencial como biorremediador de CE [3].

**Agradecimientos.** Al Departamento de Ingeniería en Sistemas Ambientales de la ENCB Zacatenco por facilitar sus instalaciones para llevar a cabo el presente estudio. Al CONAHCYT por el apoyo económico brindado para la realización del proyecto de investigación.

### Referencias.

- [1] Kincanon R., McAnally A. S. 2004. Enhancing commonly used model predictions for constructed wetland performance: as-built design considerations. *Ecological modelling*. 174: 309-322.
- [2] Rajabzadeh A. R., Legge R. L., Weber K. P. 2015. Multiphysics modelling of flow dynamics, biofilm development and wastewater treatment in a subsurface vertical flow constructed wetland mesocosm. *Ecological Engineering* 74: 107-116.
- [3] Francini A., Mariotti L., Di Gregorio S., Sebastiani L., Andreucci A. 2018. Removal of micro-pollutants from urban wastewater by constructed wetlands with *Phragmites australis* and *Salix matsudana*. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 36474-36484.

# EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS QUÍMICOS Y FUNCIONALES EN GARBANZO (*Cicer arietinum* L.) PROVOCADOS POR LA GERMINACIÓN.

Alejandra Linares-Castañeda, Luis Jorge Corzo-Rios, Cristian Jiménez Martínez\*

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.

crisjm\_99@yahoo.com

Palabras clave: Garbanzo, Germinación, Elicitación, Calidad proteica, Antioxidante

**Introducción.** El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) es una leguminosa rica en carbohidratos, proteínas, minerales y vitaminas, además, contiene compuestos no nutricionales, también denominados bioactivos por sus propiedades biofuncionales, ya que ayudan en la prevención de enfermedades, debido principalmente a sus propiedades antioxidantes(1). La germinación es un método eficaz para mejorar la calidad proteica y el perfil de los compuestos biofuncionales como los los compuestos fenólicos (2), el uso de elicitores se ha empleado para la activación de respuestas de defensa en la planta inducidas por un estrés, activando la expresión de genes clave en las vías biosintéticas secundarias. Estos elicitores pueden ser bióticos o abióticos, en estos últimos se encuentran moléculas o tratamientos que inducen estos cambios, como el ácido salicílico, quitosano, ácido glutámico, peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), sacarosa, entre otros (3). En este trabajo, se evaluó la aplicación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, quitosano y sacarosa como elicitores para optimizar el proceso de germinación/elicitación de garbanzo con la finalidad de aumentar su calidad nutricional (contenido y digestibilidad de la proteína) y la acumulación de compuestos biofuncionales (compuestos fenólicos) con actividad antioxidante.

**Metodología.** Se optimizó mediante diseños Box-Behnken las condiciones de germinación a 28 °C y 70% HR y elicitación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, quitosano y sacarosa para obtener harinas de garbanzo con mayor contenido y digestibilidad de la proteína (DPIV), compuestos fenólicos totales (CFT) y actividad antioxidante (AAox). Los niveles de los factores en estudio se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Niveles no codificados de diseños Box-Behnken

Elicitor	Concentración * mM ** % p/v	Tiempo de remojo (h)	Tiempo de germinado (días)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	20 – 40 *	1 – 3	1 – 5
Quitosano	0.1 – 0.5 **		
Sacarosa	1 – 3 **		

**Resultados y discusión.** De acuerdo con los objetivos del trabajo, las cuatro variables de estudio fueron maximizadas en su respuesta. La optimización para cada elicitore se muestra en el cuadro 2. Las harinas fueron producidas bajo las condiciones óptimas y se validaron experimentalmente para cada elicitore (Cuadro 3), así como su respectiva muestra control (sin elicitore, usando agua destilada como solución de remojo).

Cuadro 2. Optimización de germinación y elicitación de garbanzo

Elicitor	Tiempo de remojo (h)	Concentración	Tiempo de germinado (Días)	Deseabilidad compuesta
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3:00	34.34 mM	5	0.98
Quitosano	1:00	0.35 % p/v	5	0.92
Sacarosa	2.55	1.00 % p/v	5	0.89

Cuadro 3. Validación del modelo de germinación y elicitación

Elicitor	Proteína <sup>1</sup>	DPIV <sup>1</sup>	CFT <sup>2</sup>	AAox <sup>3</sup>
Cruda	20.88 ± 0.87 <sup>b</sup>	54.38 ± 4.51 <sup>c</sup>	33.13 ± 1.77 <sup>c</sup>	52.39 ± 0.90 <sup>c</sup>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	24.39 ± 0.76 <sup>a</sup>	96.29 ± 1.44 <sup>a</sup>	206.73 ± 2.47 <sup>a</sup>	121.18 ± 3.36 <sup>a</sup>
°C H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	20.96 ± 1.89 <sup>b</sup>	73.24 ± 3.94 <sup>b</sup>	142.96 ± 0.79 <sup>b</sup>	112.65 ± 3.08 <sup>b</sup>
Quitosano	22.10 ± 0.52 <sup>c</sup>	92.30 ± 1.57 <sup>b</sup>	163.15 ± 3.66 <sup>b</sup>	120.32 ± 0.09 <sup>a</sup>
°C Quitosano	21.92 ± 0.24 <sup>c</sup>	81.19 ± 4.25 <sup>d</sup>	117.77 ± 4.24 <sup>c</sup>	119.15 ± 0.58 <sup>a</sup>
Sacarosa	23.00 ± 0.27 <sup>b</sup>	96.58 ± 2.54 <sup>a</sup>	145.44 ± 2.80 <sup>c</sup>	120.63 ± 0.34 <sup>a</sup>
°C Sacarosa	24.14 ± 1.76 <sup>a</sup>	89.40 ± 1.95 <sup>c</sup>	133.01 ± 2.20 <sup>b</sup>	119.44 ± 0.41 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>%, <sup>2</sup>mg EAG/100 g, <sup>3</sup>μmol ET/100 g, °C: Control. Cada valor representa la media ± desviación estándar. Letras diferentes son significativamente diferentes (p<0.05).

Los valores experimentales de contenido de proteína, DPIV, compuestos fenólicos y actividad antioxidante fueron similares a los predichos por el modelo, además, las condiciones óptimas usadas presentaron valores reproducibles.

Los resultados muestran que el contenido de proteína aumento en un 17, 6 y 10%, la digestibilidad de la proteína *in vitro* aumentó en un 77, 70 y 78%, los compuestos fenólicos totales aumentaron en un 524, 393 y 339% y la actividad antioxidante incrementó en un 112, 110 y 111% (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, quitosano y sacarosa, respectivamente) con la germinación-elicitación.

**Conclusiones y perspectivas.** La germinación/elicitación modificó el contenido y digestión de la proteína, los compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante comparado con la germinación convencional y la semilla cruda. Además de caracterizar la actividad antioxidante como propiedad biofuncional, se puede realizar la caracterización de las propiedades tecnofuncionales de la proteína de las harinas germinadas y elicidadas.

**Agradecimientos.** Al Instituto Politécnico Nacional y al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT).

## Referencias.

- Dutta, A., Trivedi, A., Nath, C. P., Gupta, D. Sen, & Hazra, K. K. (2022). A comprehensive review on grain legumes as climate-smart crops: Challenges and prospects. *Environmental Challenges*, 7, 100479. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100479>
- Di, Y., Li, X., Chang, X., Gu, R., Duan, X., Liu, F., Liu, X., & Wang, Y. (2022). Impact of germination on structural, functional properties and *in vitro* protein digestibility of sesame (*Sesamum indicum* L.) protein. *LWT-Food Science and Technology*, 154, 112651. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112651>
- Liu, H. K., Kang, Y. F., Zhao, X. Y., Liu, Y. P., Zhang, X. W., & Zhang, S. J. (2019). Effects of elicitation on bioactive compounds and biological activities of sprouts. *Journal of Functional Foods*, 53(13), 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.12.019>

## CARACTERIZACIÓN DEL HONGO DEL MAGUEY (*Pleurotus agaves*) CULTIVADO EN SUBPRODUCTO DE MEZCAL

Alejandra Valdez Betanzos, Rosalva Mora Escobedo\* y Gerardo Mata Montes de Oca.

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Campus Zacatenco. Delegación G.A. Madero, Ciudad de México.

betvaldz@gmail.com

Palabras clave: bagazo, mezcal, *Pleurotus agaves*, antioxidantes.

**Introducción.** El hongo del maguey (*Pleurotus agaves*) es una especie endémica de México que crece naturalmente sobre pencas de *Agave salmiana* (maguey pulquero), tiene un sabor atractivo y nutricionalmente se caracteriza por un bajo contenido energético, bajo contenido de lípidos, alto contenido de fibra y proteína, además de compuestos bioactivos con actividad antioxidante, antitumoral, entre otras, por lo que se puede considerar como un alimento funcional. El género *Pleurotus* se caracteriza por degradar y crecer en materiales lignocelulósicos por lo que el objetivo de este trabajo fue caracterizar tres tipos de bagazo, subproducto del proceso de la producción de mezcal que representa aproximadamente 122,696 toneladas de bagazo tan sólo en el estado de Oaxaca y que no suele recibir un tratamiento adecuado convirtiéndose en un foco de contaminación, además de identificar morfológicamente y seleccionar las cepas de *Pleurotus agaves* con mejor adaptación a estos..

**Metodología.** Se analizaron 3 bagazos (*Agave angustifolia*, *Agave potatorum* y *Agave marmorata*) procedentes de Oaxaca. Se realizó su caracterización química determinando humedad (AOAC 931.04), proteína cruda (método de Micro-Kjedahl AOAC 988.05), extracto etéreo (método de Soxhlet AOAC 920.85), cenizas (AOAC 934.01), azúcares reductores (método del Ácido 3-5-dinitrosalicílico) y carbohidratos totales por diferencia de peso. Se evaluó el contenido de polifenoles totales (método Folin-Ciocalteu) y la actividad antioxidante, por DPPH (Bobo-García et al., 2015) y ABTS (Leite et al., 2011) Para observar la distribución de los componentes se utilizó un microscopio confocal de barrido láser (LSM 710 NLO). Se evaluó el crecimiento micelial *in vitro* mediante la medición del área de crecimiento y la tasa de crecimiento de 6 cepas de *Pleurotus agaves* previamente identificadas morfológicamente (IE-715, IE-2038, IE-835, IE-836, IE-837, IE-862).

### Resultados y discusión.

Cuadro 1. Caracterización química de los sustratos (bagazos)

Determinación (%) base seca	<i>A. angustifolia</i>	<i>A. potatorum</i>	<i>A. marmorata</i>
Humedad	2.53 ± 0.56	2.3 ± 0.52	3.73 ± 0.37
Proteína	1.96 ± 0.27	1.30 ± 1.22	1.8 ± N/A
Extracto Etéreo	2.38 ± 0.27	3.28 ± 0.85	1.44 ± 0.07
Cenizas	8.00 ± 1.31	6.20 ± 0.83	6.80 ± 3.8
Azúcares reductores mg/mL	3.99 ± 0.21	4.8 ± 0.66	10.37 ± 2.72
Carbohidratos	82.60	86.92	86.21

Los sustratos presentaron un contenido de polifenoles totales de 20.07 mgEAG/g (*A. angustifolia*), 20.43 mgEAG/g (*A. potatorum*) y 27.24 mgEAG/g (*A. marmorata*). En la inhibición del radical DPPH se obtuvieron valores de 829, 855 y 1449 mgET/g y en el ensayo de ABTS los resultados fueron de 390, 393 y 377 µMol ET/g respectivamente. Se obtuvieron cuerpos fructíferos blanquecinos a ligeramente amarillos de forma petaloide con un estípite largo aterciopelado. A su vez, con los resultados de las secuencias genéticas de las cepas se hizo la asignación de especie de *P. agaves* a cada una de ellas.

Cuadro 2. Crecimiento (mm) a los 9 días de incubación en medio sólido

Cepa	Sustratos (mm)		
	Paja	Bagazo	Paja-bagazo
IE-2038	83	62	82
IE- 835	55	43	51
IE-837	38	25	27
IE-836	36	23	35
IE-715	34	25	27
IE-862	31	28	34

Cuadro 3. Crecimiento (mm) a los 8 días de incubación en sustrato

Cepa	Sustratos (mm)		
	Paja	Bagazo	Paja-bagazo
IE-2038	100	82	100
IE- 835	81	52	76
IE-837	79	60	66
IE-836	93	65	75
IE-715	92	75	83
IE-862	93	70	76

**Conclusiones y perspectivas.** Los resultados de la caracterización química y antioxidante muestran que los bagazos pueden ser un sustrato adecuado para el cultivo de *Pleurotus agaves* debido a que contiene los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo, además, tienen potencial como fuente de compuestos con actividad antioxidante. Los resultados mostraron a la cepa IE-2038 como la de mejor adaptación tanto en medio sólido como en sustrato al invadir por completo los medios de crecimiento a los 9 y 8 días en paja y paja-bagazo respectivamente, y, aunque el crecimiento en los medios con bagazo no fue total si tuvo mayor invasión. Las perspectivas del trabajo son realizar pruebas de fermentación para establecer las mejores condiciones del sustrato y se realizará un estudio microestructural de los sustratos para determinar el grado de degradación y un análisis enzimático para proponer el mecanismo utilizado por el hongo.

**Agradecimientos.** A CONAHCYT por el apoyo económico; A la fábrica de mezcal Dainzú y al Ing. Julián por la donación de los residuos; al INECOL por las cepas donadas y al IPN por las facilidades.

### Referencias.

- Barrales, M., y Mata, G. (2016). Selección de cepas nativas del hongo del maguey (*Pleurotus opuntiae*) y evaluación de su producción en sustratos fermentados. *Interciencia*, 41(5), 346-352.
- Heredia-Solis, A., Esparza-Ibarra, E., Romero-Bautista, L., Cabral-Arellano, F., & Bañuelos-Valenzuela, R. (2014). Bagazos de *Agave salmiana* y *Agave weberi* utilizados como sustrato para producir *Pleurotus ostreatus*. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2334-2501.
- Alfaro-Rojas, G., Legaria-Solano, J.P. & Rodríguez-Pérez, J.E. (2007). Genetic diversity in populations of pulquero agaves (*Agave spp.*) in northeastern Mexico state. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 30: 1-27.

## DISEÑO *IN SILICO*, SINTESIS, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN BIOLÓGICA EN LA LINEA CELULAR DE GLIOBLASTOMA U373 DE ANÁLOGOS DE LA PEREZONA SINTETIZADOS POR QUÍMICAS VERDES

Alfredo Amaury Bautista Solano, Gloria Dávila Ortiz\*, María Guadalupe Hernández Inares

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Campus Zacatenco, Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Calle Wilfrido Massieu Cda. Manuel Estampa. C.P. Ciudad de México, 07738, México.

Gdaviiao@ipn.mx.

Palabras clave: Glioblastoma, PARP-1, perezona, química verde

### Introducción.

El glioblastoma multiforme es uno de los astrocitomas más peligrosos por su alta capacidad de producir metástasis culminando con la muerte del paciente. Los tratamientos para este tipo de cáncer han sido poco eficientes debido a que su efecto se ve disminuido por la barrera hematoencefálica. La poli-ADP-ribosa (PARP-1) es una enzima que esta sobre expresada en este tipo de cáncer. Esta enzima tiene la función de reparación de roturas monocatenarias. La inhibición de PARP-1 evita que el ADN se repare y se induzca la muerte de células cancerosas.

La perezona es una quinona sesquiterpenica extraída de las raíces del género *Acourtia*. La perezona destaca por su estructura química al presentar olefinas ricas en densidad electrónica, que tienen un efecto directo en su química redox, además de tener la capacidad de formar complejos aceptante-donante. Este metabolito secundario ha demostrado actividad antineoplásica por la inhibición de PARP-1 y liberación de especies reactivas de oxígeno (1).

Dentro de la síntesis orgánica verde se encuentra la fotoquímica. Esta tiene como ventajas el diseño de productos químicos menos tóxicos y seguros al medio ambiente. Otra de las ventajas de la fotoquímica es la formación de enlaces C-C que permite alargar la cadena carbonada generando nuevos centros estrogénicos a través de reacciones fotoquímicas que dan como producto estructuras enantioméricamente puras y con actividad biológica (2). Por lo tanto, es importante sintetizar nuevos derivados de perezona esperando que sean candidatos para inhibir PARP-1 utilizando metodologías de química verde.

### Planteamiento del problema.

El glioblastoma multiforme es un tipo de cáncer donde solo el 33% de los pacientes sobrevive y el 5% de los pacientes llegan a vivir más de 5 años tras el diagnóstico. Esto es debido a que los tratamientos son poco eficientes. Este cáncer sobre expresa la enzima PARP-1. La inhibición de PARP-1 evita que el ADN se repare y se induzca la muerte de células cancerosas. Por lo tanto, es importante la búsqueda de inhibidores de PARP-1.

### Justificación.

El glioblastoma es un cáncer que sobre expresa la enzima PARP-1. Se ha demostrado que la perezona tienen actividad antineoplásica inhibiendo PARP-1. La perezona presenta grupos electrón-donadores deslocalizados que pueden formar derivados con enlaces C-C cuaternarios con la capacidad de modificar su potencial redox y con ellos su actividad biológica. Debido a esto es importante estudiar y sintetizar nuevos derivados con actividad anticancerígena.

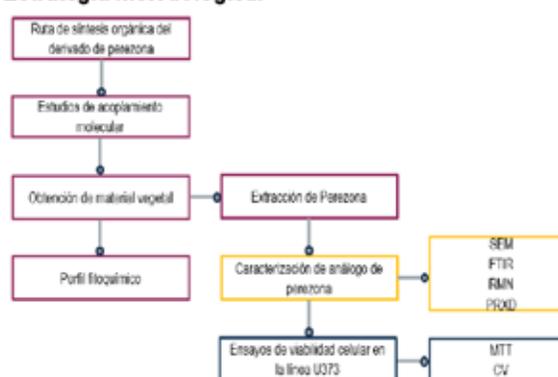
### Objetivo general.

Sintetizar un derivado de perezona con la capacidad de inhibir la enzima PARP-1.

### Objetivos particulares.

1. Realizar un acoplamiento molecular que permita explicar la inhibición de PARP-1 del derivado de perezona.
2. Sintetizar el derivado de perezona
3. Caracterizar el derivado de perezona
4. Evaluar el efecto biológico del derivado de perezona en la línea celular de glioblastoma U373.

### Estrategia metodológica.



### Resultados esperados.

El análogo de la perezona que contenga un grupo pirazolona, presentara grupos electrón donadores desarrollando el par radical adecuado para la formación de enlaces C-C cuaternarios teniendo la capacidad de modificar su potencial redox y una inhibición de la enzima PARP-1 en la línea celular cancerígena U373.

### Referencias.

1. Hernández-Rodríguez M, Mendoza-Sánchez P.I., Martínez J., Macías-Pérez M.E., Rosales-Cruz E., Zolek T., Maciejewska D., Miranda-Ruvalcaba R., Mera-Jiménez E. & Nicolas-Vázquez M.I. (2022). In vitro and computational studies of perezona and perezona angelate as potential anti-glioblastoma multiforme agents. *Molecules*. 27 (5): 1-16
2. Hernández-Linares M.G., Guerrero-Luna G., Pérez-Estrada S., Ellison, M., Ortin M.M. & García-Garibay M.A. (2015). Large-Scale Green Chemical Synthesis of Adjacent Quaternary Chiral Centers by Continuous Flow Photodecarbonylation of Aqueous Suspension of Nanocrystalline Ketones. *J. Am. Chem. Soc.* 137 (4). 1679-1684

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

Amairany Rodríguez Navarrete, Doris Atenea Cerecedo Mercado\*, Alfredo Maciel Cerda, Valentín López Gayou, César Augusto Sandino Reyes López y Jorge Cornejo Garrido.

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía

[dcereced@ipn.mx](mailto:dcereced@ipn.mx)

Palabras clave: *Constructo tisular, pulpa dental, endodoncia regenerativa, células troncales mesenquimales, polímeros.*

**Introducción.** La caries dental no tratada, los traumatismos dentales y las variaciones anatómicas pueden desencadenar pulpitis (inflamación de la pulpa dental) (1). Actualmente, la terapia del conducto pulpar estándar posee diversas desventajas, incluyendo pérdida de la vitalidad dental, riesgo de fractura dental, entre otros (2). Por lo tanto, se ha propuesto el tratamiento de endodoncia regenerativa (RET), que implica la regeneración pulpar con el objetivo de promover la formación de tejido conectivo pulpar, dentina, diferenciación celular, revascularización y reinervación, a través de constructos tisulares, que consiste en la integración de un andamio basado en biomateriales como la Poli-ε-caprolactona (PCL), Ácido poli glicólico (PGA) y colágeno (Col), en combinación con células troncales mesenquimales (MDC) (3).

### Metodología.

Se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) para examinar la morfología a microescala de los filamentos del andamio de PCL/PGA/Col. La caracterización físico y química del andamio se realizó a través de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), Análisis Termogravimétrico (TGA), y ángulo de contacto (el andamio de PCL/PGA, sin colágeno se usó como grupo control).

### Resultados y discusión.

Fabricación y Caracterización del andamio de PCL/PGA/Col.

El andamio compuesto de PCL/PGA se fabricó mediante el método de electrohilado y fue modificado superficialmente con Colágeno. El espectro FT-IR exhibió los picos representativos de la PCL a 2941, y 1732  $\text{cm}^{-1}$ , correspondiente a las vibraciones de  $\text{CH}_2$  y  $\text{C}=\text{O}$ , y para PGA exhibió las vibraciones de  $\text{CH}_2$  y  $\text{C}=\text{O}$  en 1245 y 1180  $\text{cm}^{-1}$ ; colágeno presentó la vibración de la amida II en 1632. Los resultados obtenidos fueron consistente con lo reportado por Yaseri R et al. (4) y por Zhang & Li (5) lo que respalda la integridad estructural de la PCL, PGA y Col en el andamio. El análisis de DSC, exhibió las temperaturas de transición vítrea, y de fusión del andamio a  $-61.87^\circ\text{C}$  y  $60.54^\circ\text{C}$  respectivamente. El análisis de TGA mostró que el andamio de PCL/PGA/Col, se degradó en dos fases, la primera fase a  $311^\circ\text{C}$  con una pérdida de masa del 13.48% y la segunda fase a  $398.17^\circ\text{C}$  con una pérdida de masa del 70%.

Se conoce, que la hidrofiliidad de la superficie de los andamios modula la adhesión y la proliferación celular (6). Por lo tanto, se analizó la hidrofiliidad del andamio de PCL/PGA/Col, a través de la medición el ángulo de contacto con el agua. El andamio de PCL/PGA exhibió propiedades hidrofóbicas con un ángulo de contacto de  $93^\circ$ , debido a la ausencia de grupos funcionales hidrofílicos en sus estructuras químicas de ambos polímeros (PGA y PCL) (7). La presencia de Col en el andamio de PCL y PGA indujo una superficie hidrófila, en la que el ángulo de contacto fue de  $5^\circ$  lo que demuestra la saturación de grupos hidrofílicos en el andamio de PCL/PGA/Col procedentes del

Col. Estos resultados fueron consistentes con los resultados de FTIR, que indicaron la presencia de Col en el andamio de PCL/PGA.

### Conclusiones y perspectivas.

En este estudio, se modificó superficialmente el andamio por electrohilado de PCL/PGA con Colágeno para su posible aplicación en endodoncia regenerativa. Los resultados de FTIR, DSC y TGA confirmaron la estabilidad química de los biomateriales (PCL, PGA y Col). En futuros estudios se espera analizar la toxicidad del andamio y analizar si las propiedades químicas y mecánicas del andamio promueven la odontodiferenciación *in vitro* y la ontogénesis y angiogénesis *ex vivo*.

**Agradecimientos:** La investigación fue financiada por el Proyecto SIP-IPN: 20241971.

### Referencias.

- Dieterle MP, Gross T, Steinberg T, Tomakidi P, Becker K, Vach K, Kremer K, Proksch S. *Characterization of a StemnessOptimized Purification Method for Human Dental-Pulp Stem Cells: An Approach to Standardization*. Cells. 2022 Oct 12;11(20):3204.
- Gheisary Z, Mahmood R, Harri Shivanantham A, Liu J, Lieffers JRL, Papagerakis P, Papagerakis S. *The Clinical, Microbiological, and Immunological Effects of Probiotic Supplementation on Prevention and Treatment of Periodontal Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis*. Nutrients. 2022 Feb 28;14(5):1036.
- Huang X, Li Z, Liu A, Liu X, Guo H, Wu M, Yang X, Han B, Xuan K. *Microenvironment Influences Odontogenic Mesenchymal Stem Cells Mediated Dental Pulp Regeneration*. Front Physiol. 2021 Apr 22;12:656588
- Yaseri, R., Fadaie, M., Mirzaei, E., Samadian, H., & Ebrahimezhad, A. (123 C.E.). Surface modification of polycaprolactone nanofibers through hydrolysis and aminolysis: a comparative study on structural characteristics, mechanical properties, and cellular performance. *Scientific Reports* |, 13, 9434. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36563-w>
- Zhang, S., & Li, Q. (2023). *Neural regeneration ability of Polypyrrole-Collagen-Quercetin composite in the spinal cord injury*. *Regenerative Therapy*, 24, 85.
- Boyan, B. D., Lotz, E. M., & Schwartz, Z. (2017). *Roughness and Hydrophilicity as Osteogenic Biomimetic Surface Properties*. *Tissue Engineering. Part A*, 23(23–24), 1479
- Sadeghzadeh, H., Mehdi-pour, A., Dianat-Moghadam, H. et al. *PCL/Col I-based magnetic nanocomposite scaffold provides an osteoinductive environment for ADSCs in osteogenic cues-free media conditions*. *Stem Cell Res Ther* 13, 143 (2022).

# ANÁLISIS TRANSCRIPTÓMICO DE CÉLULAS MESENQUIMALES DEL ENDOTELIO VASCULAR PULMONAR DE RATAS ESPONTÁNEAMENTE HIPERTENSAS

Amanda Isabel Borrego-Díaz, Ivette Astrid Martínez-Vieyra, Doris Cerecedo\*

Laboratorio de Hematobiología, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Instituto Politécnico Nacional, CDMX

dcereced@ipn.mx

Palabras clave: células mesenquimales, hipertensión, pulmón, transcriptómica

**Introducción.** Las enfermedades cardiovasculares (ECV) encabezan la lista de las principales causas de muerte en la actualidad. La hipertensión es un estado de presión arterial elevada sostenida. Uno de cada cuatro adultos tiene hipertensión y, en consecuencia, tiene un mayor riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. En 2021, en México, aproximadamente el 50% de los adultos mayores de 53 años vivía con hipertensión.

La rata espontáneamente hipertensa (SHR) ha sido endogámica durante más de 130 generaciones y es el modelo animal más estudiado de hipertensión humana. Se conoce que el volumen plaquetario medio (VPM) está incrementado en modelos SHR de 5 semanas de edad. Este aumento se produce a partir de un aumento en la activación plaquetaria desencadenada por varios factores que ocurren durante la hipertensión arterial. Las células precursoras de plaquetas son los Megacariocitos, y el proceso por el cual se generan estos MK es conocido como megacariopoyesis. El sitio principal donde ocurre la megacariopoyesis es en médula ósea. Las células troncales hematopoyéticas (HSC) en la médula ósea se diferencian en progenitores de megacariocitos, que migran a vasos sanguíneos pulmonares donde liberan plaquetas. La composición del mesénquima pulmonar aún no se conoce por completo, pero comprende una gran variedad de células dentro de las que se encuentran las células troncales mesenquimales (MSC). Estas MSC en médula ósea liberan gran volumen de citocinas que participan en la regeneración de vasos sanguíneos y brindan soporte a la megacariopoyesis.

**Planteamiento del problema.** Se conoce que el volumen plaquetario medio (VPM) está incrementado en modelos SHR de 5 semanas de edad. Estudios previos obtenidos por equipos de investigación han demostrado diferencias entre poblaciones celulares en tejidos de pulmón de ratas SHR y ratas normotensas WKY además de un incremento de células Nestina+, marcador de MSC. Es de gran interés conocer y estudiar el papel de estas células Nestina+ en el parénquima pulmonar de SHR.

**Justificación.** La hipertensión es una condición muy común dentro de la población. La comprensión de los mecanismos moleculares que subyacen al desarrollo y la progresión de la hipertensión es crucial para diseñar enfoques terapéuticos eficientes para la enfermedad. Debido a esto, se hace necesario el estudio más profundo a nivel transcripcional del entorno celular en tejido pulmonar el cual no ha sido explorado previamente en condiciones de hipertensión arterial sistémica.

**Objetivo general.** Analizar el conjunto de ARN transcritos en las células del endotelio vascular pulmonar de ratas espontáneamente hipertensas

**Objetivos particulares.**

- Aislar las células mesenquimales de pulmón de SHR y WKY y evaluar su pureza

- Cuantificar y caracterizar el transcriptoma completo de células mesenquimales de pulmón de SHR mediante RNA-seq.
- Comparar la expresión diferencial de genes específicos en las células mesenquimales de pulmón de SHR y WKY.
- Validar la expresión diferencial de genes específicos de SHR y WKY.

### Estrategia metodológica.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se emplearán ratas espontáneamente hipertensas de 5-6 semanas de vida. El estado general de los animales se monitoreará frecuentemente. Se realizará el aislamiento de las células mesenquimales de pulmón de SHR y WKY y se evaluará la pureza de las MSC aisladas mediante citometría de flujo. Se cuantificará y caracterizará el transcriptoma completo de células mesenquimales de pulmón de SHR y WKY mediante RNA-seq. Posteriormente, se realizará una comparación de la expresión diferencial de genes específicos (HGF, TGF, IL-6, CXCL-12, THPO, FGF-2, VEGFA, CXCL8) en las células mesenquimales de pulmón de SHR y WKY mediante paquetes como DESeq, 2edgeR o lima. Finalmente, se realizará la validación de la expresión diferencial de estos genes mediante RT-qPCR.

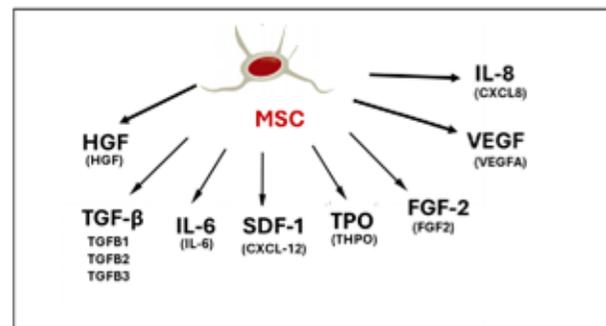


Figura 1. Citocinas producidas por MSC que se encuentran involucradas en la regeneración de vasos sanguíneos y el soporte de la megacariopoyesis en médula ósea.

**Resultados esperados.** Se espera encontrar genes que estén significativamente más expresados (upregulados) o menos expresados (downregulados) en el endotelio vascular pulmonar de ratas hipertensas en comparación con ratas normotensas. Estos genes podrían estar directamente relacionados con la formación de nuevos vasos sanguíneos y/o la reparación de daños tisular o podrían estar brindando soporte al proceso de megacariopoyesis en el pulmón de SHR a las 5 semanas de edad.

### Referencias.

1. Navneet Singh, Carsten Eickhoff et al. 2023. Transcriptional profiles of pulmonary artery endothelial cells in pulmonary hypertension. *Sci Rep* 13, 22534
2. Xu, X., Khunsiraksakul, C., Eales, J.M. et al. 2024. Genetic imputation of kidney transcriptome, proteome and multi-omics illuminates new blood pressure and hypertension targets. *Nat Commun* 15, 2359.

## GENOMIC AND ENZYMATIC ANALYSIS OF MICROORGANISMS CAPABLE OF DEGRADING LOW-DEGRADING AND RECALCITRANT PLASTICS

Aminat Olamide Shokunbi, Ninfa Maria Rosas Garcia\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica, Laboratorio de Biotecnología Ambiental

nrosas@ipn.mx

Keywords: *Plastics, Lipase-positive bacteria, Enzymatic Analysis, Biodegradation, Genomic Analysis*

**Introduction.** Plastics pose environmental challenges due to their durability and harmful disposal effects. Biological approaches, especially bacterial degradation, offer a promising solution. Certain bacteria produce extracellular enzymes (lipase, protease, chitinase, cellulase, xylanase) that break down complex plastic polymers into smaller, biodegradable molecules. These enzymes target specific bonds in plastic, initiating degradation. Understanding enzymatic pathways is key to optimizing this process. Genomic and enzymatic analyses provide insights into molecular mechanisms, potentially revealing novel enzymes and pathways for efficient biodegradation. This research aims to study microbial genomes and enzymes associated with the ability to degrade low-degrading and recalcitrant plastics.

**Methodology.** Water and soil samples were collected from various dumpsites, landfills, and rivers in Reynosa, Tlaxcala and Puebla in Mexico. These samples were serially diluted to a factor of 10 and incubated in Luria Bertani (LB) broth at 37°C. Bacterial isolates were then purified and screened for extracellular enzyme activities. Lipase-positive bacteria were identified as potential plastic degraders and subsequently tested for chitinase, cellulase, xylanase, and protease activities.

**Results and discussion.** A total of 129 bacterial isolates were obtained from our study sites (Table 1), with 54.26% being Gram-positive and 45.74% Gram-negative (Fig. 1). Of these, 36.43% (47 isolates) tested positive for lipase activity, a preliminary indicator of potential plastic-degrading bacteria. Further screening showed that 48.94% (23 isolates) of the lipase-positive bacteria also exhibited protease activity, 29.79% (14 isolates) were positive for chitinase, 57.45% (27 isolates) for cellulase, and 51.06% for xylanase activity (Fig. 2). Consistent with previous studies (Kyaw et al., 2012; Montazer et al., 2019; Wilkes & Aristilde, 2017; Temporiti et al., 2022), most isolates harbored three or more enzymes, including lipase, cellulase, and protease, which are crucial in plastic degradation.

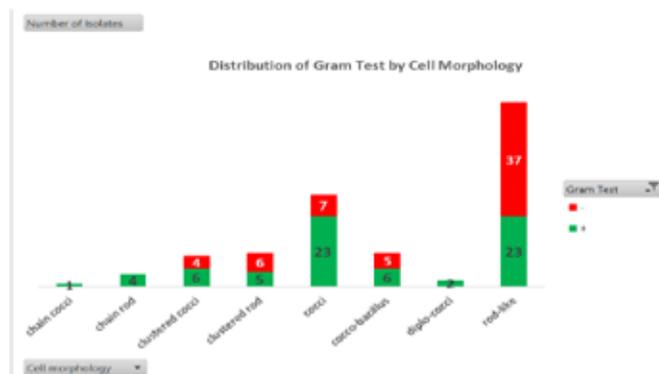


Figure 1. Bacterial isolation and identification

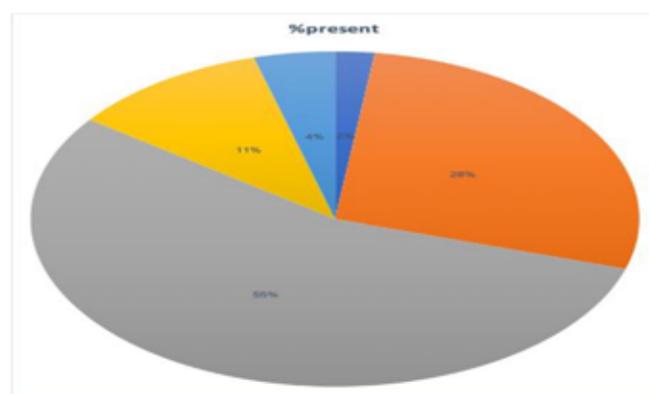


Figure 2. Enzymatic Activities of Isolates

**Conclusions and perspectives.** The presence of multiple enzymes in the bacteria studied suggests a strong potential for these bacteria to contribute to plastic degradation. Further research will focus on optimizing these enzymatic pathways and exploring genetic analysis to enhance bacterial efficiency in degrading various types of plastics. This could lead to innovative biotechnological solutions for mitigating plastic pollution.

**References.**(1) Emmanuel-Akerele, H., Akinyemi, P., and Igbogbo-Ekpunobi, O. E. (2022). Isolation and identification of plastic degrading bacteria from dumpsites Lagos. *Advances in Environmental Technology*, 8(1), 59-71.

(2)Gewert, B., Merle, M. and Matthew, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental science*. 9-11

(3)Magnin, A., Pollet, E., Phalip, V. and Avérous, L. (2020). Evaluation of biological degradation of polyurethanes. *Biotechnology advances*, 39, 107457.

(4) Ali, S., Rehman, A., Hussain, S. and Bukhari, D. (2023). Characterization of plastic degrading bacteria isolated from sewage wastewater. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 30. 103628.

Table 1. Total number of isolates per sample sites

Location	Number of Isolates
Valsequillo Lagoon (VS1)	13
Valsequillo Lagoon (VS2)	11
Valsequillo Lagoon (VA1)	15
Valsequillo Lagoon (VA2)	11
Atoyac River (AA1)	6
Atoyac River (AA2)	6
Atoyac River (AA3)	5
Atoyac River (AA4)	4
Atoyac River (AS1)	5
Atoyac River (AS2)	4
Landfill (CAM)	21
Dumpsite (BAS)	13
Dumpsite (SOF)	15

## REDIRECCIÓN DEL METABOLISMO DE *Fusarium fujikuroi* PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO Y OTROS METABOLITOS

Aranza Hernández Rodríguez, Víctor Eric López y López\*.

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada.

vlopezyl@ipn.mx

Palabras clave: *Fusarium fujikuroi*, ácido giberélico, producción, modificación genética, metabolómica.

**Introducción.** *Fusarium fujikuroi* es un hongo fitopatógeno caracterizado por la biosíntesis de una amplia variedad de metabolitos secundarios. Es el principal productor industrial de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>), una importante fitohormona que mitiga el estrés abiótico y estimula diversos atributos fenológicos de las plantas (1). Sin embargo, las estrategias de producción utilizadas en la actualidad generan concentraciones mínimas del compuesto en tiempos prolongados del proceso. Esto conduce a procesos no redituables y productos de alto costo dentro del mercado. Asimismo, la falta de información sobre el circuito de regulación y vinculación de las principales rutas metabólicas obstaculiza la modificación genética del microorganismo dirigida a la mejora del proceso de producción de la fitohormona a escala industrial (2). Por tal motivo, el objetivo de esta investigación es el estudio y establecimiento de los mecanismos globales de regulación de metabolitos mayoritarios asociados a la red de producción de GA<sub>3</sub>, con el propósito de desarrollar técnicas de modificación genética que permitan redirigir el metabolismo de *F. fujikuroi* para la producción en mayor porcentaje de compuestos de interés biotecnológico, lo cual posibilitará obtener mejores rendimientos y cubrir las necesidades de aplicación dentro del campo agroindustrial.

**Planteamiento del problema.** A pesar de las alternativas como modificación genética en estudios sobre la mejora de la producción de GA<sub>3</sub>, los rendimientos obtenidos siguen siendo deficientes. Además, el sustrato carbonado utilizado no es aprovechado ni para la producción de GA<sub>3</sub> o la formación de biomasa, generando un proceso poco favorable. Por lo tanto, se desconoce la dirección que toma en el metabolismo fúngico, lo cual restringe el panorama de manipulación genética orientada al mejoramiento de la biosíntesis de metabolitos de valor comercial.

**Justificación.** La deficiencia de un proceso de producción de GA<sub>3</sub> factible, limita significativamente la rentabilidad del mismo y satisfacción la demanda. Además, la falta de información sobre la vinculación de productos o subproductos del metabolismo de *F. fujikuroi* obstaculiza el desarrollo de técnicas moleculares dirigidas al aumento de la productividad de este. Por ello, es preciso elucidar la producción de otros metabolitos y relacionarlos con los mecanismos globales de regulación involucrados en la biosíntesis de GA<sub>3</sub>. De esta manera, incidir las vías metabólicas que permitan el redireccionamiento en mayor grado del metabolito de interés y optimizar el proceso de producción para futuras perspectivas industriales.

**Objetivo general.** Redirigir el metabolismo de *Fusarium fujikuroi* IMI 58289 para la producción de ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) y otros metabolitos de interés.

**Objetivos particulares.** 1) Evaluar el metabolismo de productos clave a diferentes condiciones de producción de GA<sub>3</sub>. 2) Seleccionar genes específicos para disminuir/aumentar la producción de GA<sub>3</sub> de acuerdo al perfil de metabolitos mayoritarios. 3) Transformar cepas de *F.*

*fujikuroi* para disminuir/aumentar la producción de GA<sub>3</sub> de acuerdo al análisis genético. 4) Comparar la producción de GA<sub>3</sub> por cepas modificadas de *F. fujikuroi* en reactor de tanque agitado y airlift.

**Estrategia metodológica.** Inicialmente, se llevarán a cabo cinéticas de producción a nivel reactor en condiciones basales ya establecidas por el grupo de trabajo. Se realizarán análisis de ácidos orgánicos (HPLC), determinando rendimientos de producción de metabolitos mayoritarios. Con los resultados obtenidos, se desarrollará un estudio bibliográfico sobre las rutas metabólicas asociados a la biosíntesis de GA<sub>3</sub>, a fin de seleccionar genes de importancia para la producción de la fitohormona y establecer la técnica de modificación genética a implementar (supresión o sobreexpresión del gen). Una vez transformada la cepa, se seleccionarán las mutantes y se evaluará la producción de GA<sub>3</sub> a nivel biorreactor (Figura 1) con el objetivo de corroborar que los efectos metabólicos de la modificación genética induzcan un aumento en la producción del compuesto.

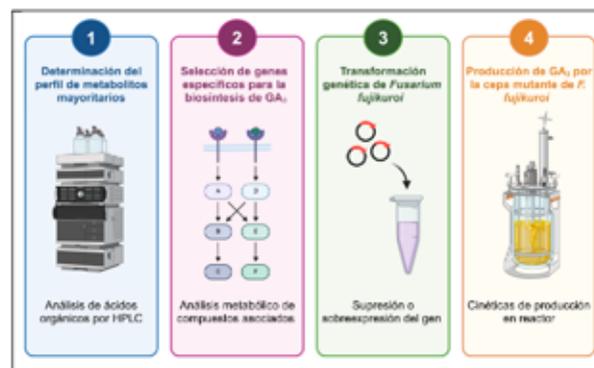


Figura 1. Estrategia experimental planteada.

**Resultados esperados.** Con el desarrollo del proyecto de investigación se espera dilucidar la diversidad de compuestos producidos por *F. fujikuroi* bajo las condiciones establecidas. También, lograr la vinculación de dichas vías metabólicas y redireccionar el metabolismo del microorganismo a la biosíntesis mayoritaria de GA<sub>3</sub>, así aumentar los rendimientos del mismo y mejorar la rentabilidad del proceso con potencial escalamiento a nivel industrial.

### Referencias.

- Shah SH, Islam S, Mohammad F, Siddiqui MH. 2023. Gibberellic Acid: A Versatile Regulator of Plant Growth, Development and Stress Responses. *J Plant Growth Regul.* 42: 7352–7373.
- Hernández Rodríguez A, Díaz Pacheco A, Martínez Tolibia SE, Melendez Xicohtencatl Y, Granados Balbuena SY, López y López VE. 2024. Bioprocess of Gibberellic Acid by *Fusarium fujikuroi*: The Challenge of Regulation, Raw Materials, and Product Yields. *J Fungi.* 10, 418.

# NANOENCAPSULAMIENTO DE EXTRACTOS DE BYRSONIMA CRASSIFOLIA CON ACTIVIDAD ANTIPROLIFERATIVA Y APOPTÓTICA EN EL TRATAMIENTO DEL ADENOCARCINOMA GÁSTRICO

Brenda Montserrat González Vázquez, Marlon Rojas López\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada Unidad Tlaxcala.

[mrojasl@ipn.mx](mailto:mrojasl@ipn.mx)

Palabras clave: Adenocarcinoma gástrico, *Byrsonima crassifolia*, antiproliferativo, apoptótico, nanoencapsulación, gelación iónica.

**Introducción.** El adenocarcinoma gástrico es una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial. Las terapias comúnmente utilizadas para este tipo de neoplasias son: radioterapia, quimioterapia, cirugía, entre otras; siendo costosas y generando efectos secundarios adversos en los pacientes. No obstante, existen fuentes de origen vegetal como *Byrsonima crassifolia* popularmente conocida como nanche, que contienen compuestos bioactivos como polifenoles, los cuales han demostrado propiedades antiproliferativas y proapoptóticas (1,2). Estos compuestos naturales ofrecen una fuente prometedora de agentes terapéuticos con menores efectos secundarios en comparación con los tratamientos convencionales; sin embargo, su baja biodisponibilidad limita su aplicabilidad clínica. Por lo que, este proyecto propone la nanoencapsulación de extractos de *Byrsonima crassifolia* mediante la técnica de gelación iónica lo que permitirá mejorar la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos, facilitando una entrega más eficiente y dirigida al sitio tumoral que puede maximizar la eficacia terapéutica, minimizando los efectos secundarios permitiendo una liberación controlada y paulatina de los compuestos de interés, optimizando su acción terapéutica hacia el sitio de acción (4). Este proyecto busca desarrollar una alternativa innovadora y eficaz para el tratamiento del adenocarcinoma gástrico, explorando los beneficios del uso de compuestos naturales y la nanotecnología para mejorar las propiedades farmacocinéticas y la eficacia del tratamiento (2, 3, 4).

Cuadro 1. Mecanismos de acción de *Byrsonima crassifolia* en el tratamiento del cáncer.

Vías de señalización	Mecanismos de acción
NF- $\kappa$ B; PI3K/Akt	Actúan sobre diversas rutas de señalización celular
PI3K/Akt; MAPK/ERK	Inhibición de la proliferación celular
Vía celular extrínseca	Inducción de apoptosis

**Planteamiento del problema.** El tratamiento del adenocarcinoma gástrico presenta diversos desafíos. Los extractos de *Byrsonima crassifolia* muestran actividad antiproliferativa y apoptótica, pero su baja biodisponibilidad restringe su aplicación en la industria médica. Es crucial mejorar la entrega y eficacia de estos compuestos naturales. La técnica de gelación iónica puede incrementar la biodisponibilidad y proporcionar una alternativa menos tóxica a los tratamientos convencionales.

**Justificación.** En los últimos años ha surgido la necesidad de desarrollar tratamientos más efectivos y menos tóxicos para el cáncer gástrico. El nanoencapsulamiento de *Byrsonima crassifolia* mediante gelación iónica puede mejorar la biodisponibilidad y eficacia de sus compuestos terapéuticos, ofreciendo una alternativa prometedora a las terapias convencionales que enfrentan problemas de resistencia y efectos secundarios.

**Objetivo general.** Desarrollar un método de nanoencapsulamiento del extracto de *Byrsonima crassifolia* para el tratamiento del adenocarcinoma gástrico en líneas celulares.

**Objetivos particulares.** 1. Obtener extractos de *Byrsonima crassifolia* mediante métodos convencionales (maceración, soxhlet) y ultrasonido. 2. Elaborar nanoencapsulados de extractos de *Byrsonima crassifolia* mediante gelación iónica. 3. Comparar la estabilidad de los extractos de *Byrsonima crassifolia* encapsulados y sin encapsular en condiciones semejantes a las del estómago. 4. Probar la actividad antiproliferativa y apoptótica de los nanoencapsulados en líneas celulares de adenocarcinoma gástrico.

**Estrategia metodológica.** Obtención de extractos de *Byrsonima crassifolia*. Realizar nanoencapsulación mediante gelación iónica utilizando quitosano y tripolifosfato de sodio (TPP). Evaluar diferentes concentraciones de quitosano para determinar la eficiencia de encapsulación y observarlos mediante SEM. Determinar actividad antioxidante mediante pruebas colorimétricas, posteriormente analizar con diferentes pH similares a los del estómago el efecto de la degradación de los nanoencapsulados. Realizar pruebas en líneas celulares AGS, MKN-45 y ensayos de viabilidad celular con diferentes biomarcadores (azul de tripano).

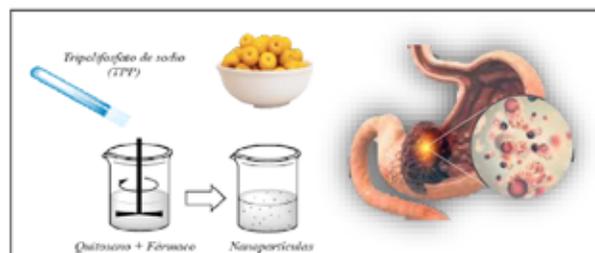


Figura 1. Nanoencapsulaciones de *Byrsonima crassifolia* para el tratamiento del adenocarcinoma gástrico.

**Resultados esperados.** Se pretende demostrar que la nanoencapsulación mediante gelación iónica es una estrategia efectiva para mejorar la biodisponibilidad y la eficacia terapéutica de los compuestos bioactivos de *Byrsonima crassifolia* en el tratamiento del adenocarcinoma gástrico, con una liberación controlada y dirigida, reducción de efectos secundarios y mejora en las propiedades antioxidantes.

## Referencias.

1. Agredano-de la Garza, C. S. et al. 2021. Acta Agrícola y Pecuaria, 7(1).
2. Amaral Muxfeldt Paim. et al. 2024. 25(4), 1339-1347.
3. Barros, A. P. H., et al. 2016. Revista EIA, 75-83
4. Carmona Ortiz, E. et al. 2022. SSR. 5789-45

## DISEÑO DE UNA MEMBRANA ETNOFARMACOLÓGICA: PROPIEDADES Y APLICACIONES

Britania Janet Gutiérrez Rafael, Marco García Juárez, Orlando Zaca Morán, Valentin López Gayou\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada.

valgayou@hotmail.com

Palabras clave: *Aloe vera*, nanofibra, nanopartículas, electrohilado, cicatrización.

**Introducción.** El *Aloe vera* es reconocido por sus valiosas propiedades medicinales, que incluyen la capacidad de acelerar la cicatrización de heridas al reducir la inflamación y fomentar el crecimiento celular. Además, presenta acción antibacteriana y actúa como estabilizador y reductor de metales. La incorporación de sus compuestos bioactivos en nanoestructuras, como nanopartículas y en matrices poliméricas electrohiladas, puede potenciar la eficacia terapéutica del *Aloe vera*, facilitando una interacción más efectiva con las heridas. Este enfoque promete enriquecer aún más la versatilidad de nanomateriales bioconjugados con compuestos bioactivos de plantas en el tratamiento de heridas (1). En este trabajo se obtuvieron, caracterizaron y evaluaron *in vivo* membranas a partir de nanofibras electrohiladas de PVP, gel/extracto de piel y nanopartículas de AuNP's bisintetizadas con gel/extracto de piel de *Aloe vera*.

**Metodología.** Se obtuvieron liofilizados de gel y extracto de piel de *Aloe vera* y se caracterizaron por TLC, FTIR Y UV-vis. Se realizaron pruebas de biosíntesis a diferentes relaciones de gel y extracto de piel de *Aloe vera*/H(AuCl<sub>4</sub>) en condiciones ambientales normales. Para obtener las membranas electrohiladas, se realizó la mezcla en una relación 7:1.5:1.5 (w/w/w) de PVP y gel/extracto de piel, para las membranas con AuNP's, se realizó la biosíntesis y se agregó a una solución de PVP. Las condiciones de electrohilado fueron 15 kV y un flujo de salida de 0.1 ml/h, por 15 min. Las membranas obtenidas se analizaron por SEM. Finalmente, las membranas electrohiladas de PVP y gel-extracto de piel de *Aloe vera* fueron evaluadas *in vivo* por un periodo de 29 días y se analizó el cierre de la herida los días 0, 3, 7, 15, 21 y 29.

**Resultados y discusión.** El análisis por TLC y UV-vis de los liofilizados reveló compuestos mayoritarios de naturaleza antraquinona en extracto de piel de *Aloe vera*. Los espectros FTIR-ATR mostraron bandas en la región de carbohidratos, principalmente en el gel.

tamaño de 10-20 nm en una relación 6:4 (v/v) gel/extracto de piel de *Aloe vera*/H(AuCl<sub>4</sub>). El diámetro de las fibras obtenidas a partir de PVP-gel/extracto de piel de *Aloe vera* fue de 189 nm. Sin embargo, al incorporar las nanopartículas de oro (AuNPs), este diámetro aumentó a 303 nm, formando patrones circulares en la membrana. Se observaron agregaciones incrustadas de AuNPs distribuidas aleatoriamente en las fibras.

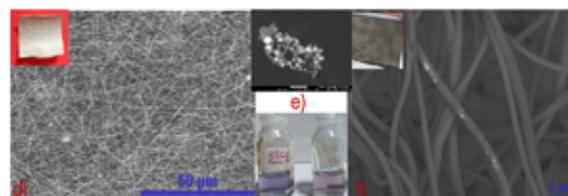


Figura 2. d) membrana PVP-gel/piel *Aloe vera*, e) AuNP's gel-piel *Aloe vera* y f) membrana PVP- AuNP's/gel *Aloe vera*.

En el modelo *in vivo*, la membrana de PVP y PVP-gel/extracto de piel de *Aloe vera* mejoraron visiblemente la cicatrización a partir del día 7 en comparación con el control negativo y el control positivo (Recuperón).

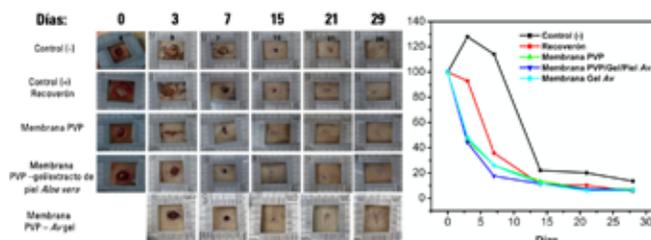


Figura 3. Cinética de cicatrización

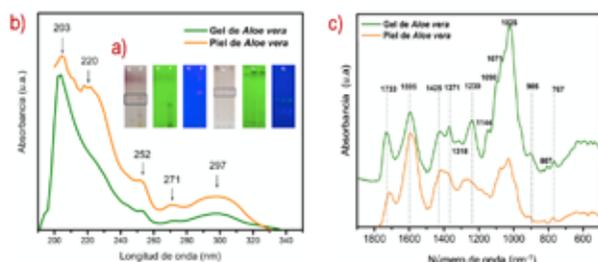


Figura 1. Análisis de gel y extracto de piel de *Aloe vera* por: a) TLC b) UV-vis y c) FTIR-ATR.

La presencia de estos compuestos posterior al proceso de extracción, permitió la biosíntesis de AuNP's al observar el cambio de color violeta en la solución, presentando formas esféricas y cuasi-esféricas y un

**Conclusiones y perspectivas.** Al integrarse en una matriz nanoestructurada, la herida tratada con la membrana de PVP-gel/extracto de piel de *Aloe vera* mostró una notable mejora en el cierre de la herida respecto a los controles. Esta configuración facilitaría una liberación eficiente de sus compuestos bioactivos, perfilándolo como una fuente prometedora para el desarrollo de materiales biomédicos en medicina regenerativa y terapia de heridas.

**Agradecimientos.** A BEIFI (proyecto SIP-IPN 20240719) y CONHACYT por el apoyo económico para llevar a cabo esta investigación.

### Referencias.

1. Agnes-Mary, S.; Giri-Dev, V.R. Electrospun herbal nanofibrous wound dressings for skin tissue engineering. *J. Text. Inst.* 2014, 106, 886–895.

## PRODUCCIÓN DE HERNANDULCINA POR MÉTODOS BIOTECNOLÓGICOS

Carlos Jonnathan Castro-Juárez, Silvia Luna-Suárez\*, Nemesio Villa-Ruano

Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada

[sluna@ipn.mx](mailto:sluna@ipn.mx)

Palabras clave: *Hernandulcina*, *Phyla scaberrima*, *Agrobacterium rhizogenes*, *Edulcorante no calórico*.

**Introducción.** El consumo de edulcorantes naturales no calóricos sigue atrayendo a los consumidores (1). La hernandulcina (HE) es un sesquiterpeno aislado en México por primera vez de las hojas y flores de *Phyla scaberrima*, dicho compuesto presenta un dulzor 1000 veces superior a la sacarosa. No obstante, la producción escalable es un desafío debido a su escasa recuperación de manera convencional y protocolos de síntesis química de bajo rendimiento. Por lo que el objetivo de este trabajo es: generar una plataforma biotecnológica para la producción de hernandulcina.

**Metodología.** Se generaron cultivos de raíces pilosas de *P. scaberrima* con *Agrobacterium rhizogenes* cepa 1500. Se eligieron 10 líneas al azar y se ensayaron 10 réplicas de cada línea. Se determinaron las mejores condiciones y elicitores que incrementaron la producción de HE a partir de lotes crecidos por 15 días. Monitoreando la producción por HPLC y corroborando su identidad por cromatografía GC-MS. Consecutivamente, se realizaron cultivos por lotes de 25 días para determinar las mejores condiciones. Finalmente, se generaron raíces pilosas de *P. scaberrima* por *A. rhizogenes* cepa 1500 que contienen la secuencia codificante de la (+)-epi- $\alpha$ -bisabolol sintasa de la misma planta.

**Resultados y discusión.** La transformación genética de hojas y brotes de *P. scaberrima* mediante *A. rhizogenes* fue exitosa, destacando la importancia de la acetosiringona en el proceso. Se seleccionaron diez líneas de raíces pilosas para experimentos de cultivo, donde se observó que estas raíces acumulaban HE, confirmada por HPLC. Anteriormente, se había reportado que las raíces cultivadas durante 28 días acumulaban un 2.9% de HE en condiciones específicas (2). Los cultivos en MS líquido fueron analizados por primera vez en esta investigación, mostrando que el uso de una cepa diferente a la A4 de *A. rhizogenes* resultó en un aumento en la producción de HE (3). Las líneas PS7, PS9 y PS10 mostraron los niveles más altos de HE, lo que sugiere que la elicitación es una técnica efectiva para mejorar la síntesis de compuestos bioactivos.

**Cuadro 1** Tiempo para producir la mitad de la acumulación máxima de HE en días ( $D_{50}$ ) para tres líneas de raíces pilosas de *P. scaberrima* en condiciones de cultivo por lotes.

Línea de raíz	Concentración media mg/L	$D_{50}$
PS7	115.25 mg	11.10 días
PS9	118.45 mg	10.18 días
PS10	121.45 mg	8.08 días

Factores como el pH, la temperatura y la concentración de carbono influyeron significativamente en la acumulación de HE y biomasa, siendo 25 °C y 4% de sacarosa las condiciones óptimas. El ácido salicílico no mostró un efecto positivo en la síntesis de HE en algunas

líneas, mientras que la adición de Glucanex y quitina aumentó la producción de HE sin afectar significativamente la biomasa.

La introducción de farnesol y (+)-epi- $\alpha$ -bisabolol también estimuló la síntesis de HE, con resultados que respaldan hallazgos anteriores (4). Finalmente, los cultivos en lotes de 25 días de fermentación en condiciones específicas lograron producciones significativas de HE, alcanzando hasta 250 mg-L<sup>-1</sup> en la línea PS10.

**Conclusiones y perspectivas.** Las raíces pilosas suelen preferirse como plataformas biotecnológicas para obtener metabolitos secundarios en lugar de la extracción directa de plantas cultivadas de forma natural, esto para evitar protocolos de extracción complejos. En este trabajo, se logró la generación de raíces pilosas a partir de *P. scaberrima* de diez líneas seleccionadas al azar, tres mostraron las mejores propiedades para mejorar la producción de HE en condiciones controladas. La evaluación de diferentes elicitores y precursores biosintéticos reveló su capacidad diferencial para mejorar la acumulación de HE y aumentar la biomasa radicular. La quitina y el glucanex parecieron ser los mejores elicitores para inducir la síntesis y acumulación de HE sin depender de la acumulación de biomasa. En el mismo contexto, los cultivos en lotes alimentados con farnesol y (+)-epi- $\alpha$ -bisabolol produjeron los niveles más altos de HE independientemente de la acumulación de biomasa. Las estrategias reportadas en la presente investigación triplicaron las cantidades de HE obtenidas en raíces pilosas no elicitadas de *P. scaberrima*. El siguiente paso será evaluar la producción de raíces pilosas de *P. scaberrima* por *A. rhizogenes* que contienen la secuencia codificante de la (+)-epi- $\alpha$ -bisabolol sintasa de la misma planta. Ya que se logró la Transformación genética de *A. rhizogenes* conteniendo el gen de la epi- $\alpha$ -bisabolol sintasa. Seguidamente, se logró el crecimiento de raíces pilosas sisgénicas de *P. scaberrima* conteniendo a la EBS. Por lo que el siguiente paso será evaluar la sobreproducción de hernandulcina bajo la presión de diferentes elicitores en condiciones de cultivo discontinuo.

**Agradecimientos.** Se agradece a CONAHCYT por la beca 813580 de estudios de posgrado.

### Referencias.

- Tandel, KR. 2011. Sugar substitutes: Health controversy over perceived benefits. *J Pharmacol Pharmacother.* 2(4): 236–243.
- Sauerwein, M, Flores, HE, Yamazaki, T, Shimomura, K. 1991. *Lippia dulcis* shoot cultures as a source of the sweet sesquiterpene hernandulcin. *Plant Cell Rep.* 9:663–666.
- Biswas, D, Chakraborty, A, Mukherjee, S, Ghosh, B. (2023) Hairy root culture: a potent method for improved secondary metabolite production of Solanaceous plants. *Front. Plant Sci.* 14:1197555.
- Villa-Ruano, N, Castro-Juárez, CJ, Lozoya-Gloria, E, Cruz-Durán, R, RamírezGarcía, SA, Varela-Caselis, JL. 2021. Hernandulcin production in cell suspensions of *Phyla scaberrima*: exploring hernandulcin accumulation through physical and chemical stimuli. *Chem. Biodiversity.* e202302095.

## GENERACIÓN DE BIOSENSORES COLOIDALES PARA LA DETECCIÓN DE *Helicobacter pylori* EN MUESTRAS DE PACIENTES

Cecilia Díaz Pérez, Zeus Saldaña Ahuactzi, Adbú Orduña Díaz\*.

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, CIBA-Tlaxcala.

aordunad@ipn.mx

Palabras clave: *Helicobacter pylori*, CagA, VapD, biosensor coloidal, nanopartícula magnética.

**Introducción.** La bacteria *Helicobacter pylori* (*H. pylori*), causante de enfermedades infecciosas gastrointestinales en humanos como son gastritis crónica, la metaplasia intestinal gástrica y cáncer gástrico, entre otras (1). Algunas cepas con los genotipos *cagA* y *vapD* positivos de *H. pylori* están asociados a un mayor riesgo de úlcera y cáncer gástrico (2), estas enfermedades suelen ser asintomáticas dificultando su detección y correcto tratamiento (1). Los métodos de detección son importantes para el diagnóstico (Tabla 1), tratamiento y seguimiento para la eliminación de esta (3). Por otra parte, los biosensores han comenzado a ser una alternativa en diversos sectores entre ellos el de salud, por sus propiedades mecánicas, electroquímicas, ópticas y magnéticas. Las nanopartículas magnéticas (NPM) como biosensores permiten la identificación específica, la concentración y la separación de moléculas blanco de muestras complejas debido a sus propiedades magnéticas, gran área de superficie por volumen, resistencia, y solubilidad (4).

Tabla 1. Métodos más comunes en el diagnóstico en infección por *H. pylori*, modificada de Rivera, 2004.

	Invasivos	No invasivos
<b>Directos</b>	Biopsia gástrica: *Cultivo, histología, Téc. moleculares	Técnicas moleculares en: *Jugos gástricos, saliva, heces Antígeno en heces
<b>Indirectos</b>	Ureasa rápida	Prueba de aliento con urea, Serología, Anticuerpo en saliva

**Planteamiento del problema.** La falta de un diagnóstico oportuno en pacientes con *H. pylori* incrementa el riesgo de úlceras pépticas y cáncer gástrico, debido a los falsos negativos o baja sensibilidad de las técnicas directas de diagnóstico empleadas hoy en día, propiciando un fracaso en el tratamiento farmacológico.

**Justificación.** Los métodos de detección son de gran importancia para un oportuno diagnóstico, correcto tratamiento y seguimiento para la eliminación de *H. pylori*, al no tener un estándar de oro para el diagnóstico, se propone el desarrollo de biosensores coloidales complementarios con propiedades magnéticas. Para contribuir a la detección de la bacteria *H. pylori* en muestras de heces y detectar anticuerpos frente a CagA y VapD, asociadas a cáncer y úlcera gástrica, en muestras serológicas, contribuyendo a un correcto diagnóstico y seguimiento de la eliminación de la bacteria.

**Objetivo general.** Detectar la presencia de *H. pylori* y anticuerpos generadores contra los antígenos CagA y VapD en muestras biológicas de pacientes infectados con esta, mediante el desarrollo de biosensores coloidales, para un mejor diagnóstico y seguimiento de la enfermedad.

**Objetivos particulares.** 1.- Identificar y clonar en un vector de expresión por separado las secuencias codificantes conservadas para las proteínas (CagA y VapD).

2.- Purificar proteínas recombinantes de CagA y VapD de *H. pylori*.

3.- Generar anticuerpos policlonales contra cepas de *H. pylori*.

4.- Sintetizar y bio-funcionalizar nanopartículas magnéticas con las proteínas recombinantes o los anticuerpos anti-*H. pylori*.

5.- Detectar *H. pylori* o anticuerpos generados contra esta bacteria en muestras de pacientes infectados con el biosensor coloidal magnético.

6.- Validar el biosensor mediante métodos convencionales.

**Estrategia metodológica.** Se realizará una búsqueda de secuencias aminoácidas conservadas de CagA y VapD en los proteomas de cepas aisladas en México y la búsqueda de las secuencias codificantes para cada una de las proteínas. Posteriormente se diseñarán oligonucleótidos que serán usados para la amplificación de los genes de interés y su posterior clonación en un vector de expresión para cada una. Se llevará a cabo la expresión y purificación de las proteínas recombinantes. Por otro lado, se realizará la síntesis de nanopartículas magnéticas, para posteriormente inmovilizar las proteínas recombinantes o anticuerpos policlonales generados contra *H. pylori* (Figura 1). Las nanopartículas se caracterizarán mediante Infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), finalizando con la validación de los biosensores y su funcionamiento usando muestras clínicas de pacientes infectados y no infectados.

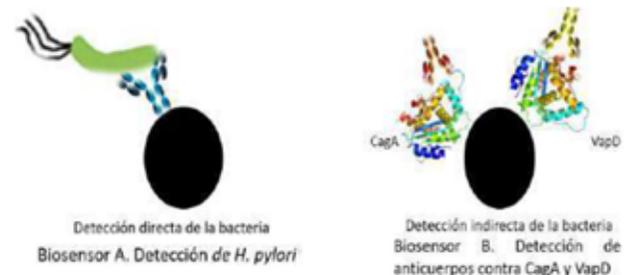


Figura 1. Representación de dos biosensores complementarios alternativos para la detección y seguimiento de *H. pylori*.

**Resultados esperados.** NPM biofuncionalizadas con anticuerpos anti-*H. pylori* y proteínas recombinantes CagA/VapD. Caracterización de las NPM por FTIR. Límites de detección de *H. pylori* y linealidad del ensayo colorimétrico con los biosensores y la validación de los resultados por técnicas convencionales.

### Referencias.

- Camilo, V., Sugiyama, T., Touati, E., (2017). Pathogenesis of infection. *Helicobacter*, 22, art. no. e12405.
- García, C. Apolinaria, B. T., Delgado S. C., Kawaguchi, P. F., Trabal, F. N., Montenegro, H. S., González, C. C., (2006). Genotipificación de aislados clínicos de *Helicobacter pylori* en base a genes asociados a virulencia *cagA*, *vacA* y *babA2*. *Revista médica de Chile*, 134(8), 981.
- Sabbagh, P., Mohammadnia A. M., Javanian, M., Babazadeh, A., Koppolu, V., Vasigala, V. K. R., Nouri, (2018). Diagnostic methods for *Helicobacter pylori* infection: ideals, options, and limitations. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, p 48-52.
- Thanh, B. T., Van, S. N., Ju, H., Bashir, M. J. K., Jun, H. K., Phan, T. B., (2019). Immobilization of Protein A on Monodisperse Magnetic Nanoparticles for Biomedical Applications. *Journal of Nanomaterials*, e2182471.

## MOVILIDAD DE BACTERIAS DEPREDADORAS EN PLÁNTULAS DE NARANJO AGRIO

Cynthia Guadalupe Rodríguez Quibrera, Xianwu Guo\* y José Luis Hernández Mendoza

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica. Blvd. del Maestro SN, Narciso Mendoza, CP. 88710 Reynosa, Tamps., México.

[xquo@ipn.mx](mailto:xquo@ipn.mx)

Palabras clave: BALOS, naranjo, *Candidatus Liberibacter asiaticus*.

**Introducción.** El HLB es causado por la bacteria Gram-negativa *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLAs). Actualmente no existe un tratamiento efectivo para combatir esta enfermedad (1). Se tiene el antecedente del empleo de bacterias depredadoras como *Bdellovibrio* (cepa HD100), utilizadas como agentes de biocontrol de enfermedades agrícolas (2). El objetivo de este trabajo es comprobar la movilidad de *Bdellovibrio* en plántulas de naranjo agrio, lo que dará la pauta para el posible uso de esta bacteria como agente de biocontrol del HLB.

**Metodología.** Se utilizaron 21 plántulas de naranjo agrio, desinfectadas con hipoclorito de sodio al 5 %.

Cuadro 1. Resultados de PCR a los 6 y 10 días de la aplicación de *Bdellovibrio* en raíz (49-63/80-94) y en hojas mediante aspersión (64-78/96-107) en plántulas de naranjo agrio.

No. Muestra	Materia	Seccion planta	PCR 6 días	PCR 10 días	No. Muestra	Materia	Seccion planta	PCR 6 días	PCR 10 días
49-63	1 H	1	+	+	64-66	1 H	1 H	+	+
50-61	1 T	2	+	+	67-69	1 T	1 T	+	+
51-62	1 R	3	+	+	70-72	1 R	1 R	-	-
52-63	2 H	1	-	-	73-75	2 H	2 H	+	+
53-64	2 T	2	-	-	76-78	2 T	2 T	+	+
54-65	2 R	3	+	+	79-81	2 R	2 R	-	-
55-66	3 H	1	-	-	82-84	3 H	3 H	+	+
56-67	3 T	2	-	-	85-87	3 T	3 T	+	+
57-68	3 R	3	+	+	88-90	3 R	3 R	+	+
58-69	4 H	1	-	-	91-93	4 H	4 H	+	+
59-70	4 T	2	+	+	94-96	4 T	4 T	+	+
60-71	4 R	3	+	+	97-99	4 R	4 R	-	-
61-72	5 H	1	-	-	100-102	5 H	5 H	-	-
62-73	5 T	2	+	+	103-105	5 T	5 T	+	+
63-74	5 R	3	+	+	106-108	5 R	5 R	-	-

\*H= Hoja, T= Tallo, R= Raíz.

En los cocultivos utilizando se observó la formación de detritos celulares, indicando la depredación y con ello la viabilidad de *Bdellovibrio* a los diez días después de la aplicación, los resultados fueron corroborados por PCR (Figura 1).

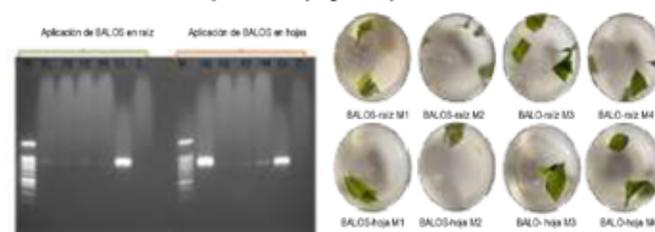


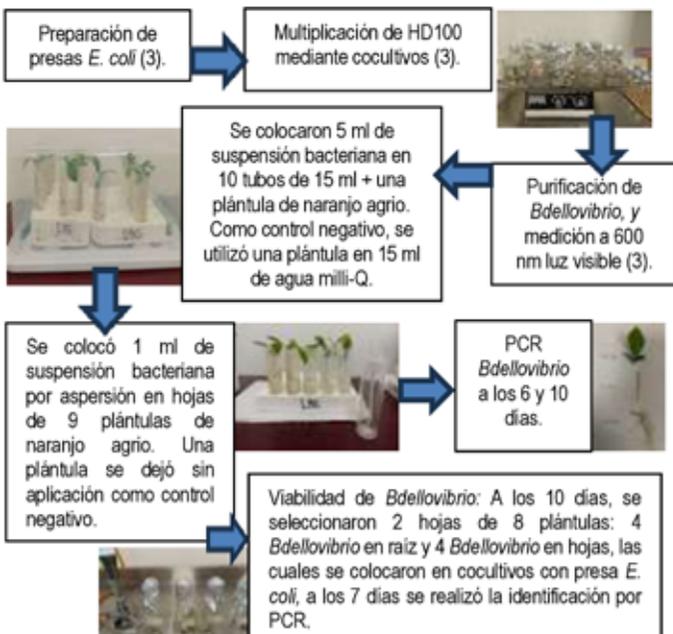
Figura 1. PCR para la identificación de *Bdellovibrio* y formación de detritos celulares en los cocultivos.

**Conclusiones y perspectivas.** De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que *Bdellovibrio* puede moverse y permanecer vivo dentro de la plántula de naranjo agrio. El siguiente paso es determinar si esta bacteria tiene efecto depredador en CLAs, para ser utilizada como agente de biocontrol del HLB.

**Agradecimientos.** Se agradece a M en E. Isabel Cristina Rodríguez Luna y al M en C. Alejandro Sánchez Varela, Beca Nacional para Estudios de Posgrado CONAHCYT, beca BEIFI, e INIFAP.

### Referencias.

- Bové, J. M. 2006. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease. *Journal of Plant Pathology* 88(1): 7-37.
- Jurkevitch, E. 2012. Isolation and classification of *Bdellovibrio* and like organisms. *Current Protocols in Microbiology*, 26(1), 7B-1.
- Song, W.-Y. 2004. Identification and Characterization of *Bdellovibrio bacteriovorus*, a Predator of *Burkholderia glumae*. *Journal of Microbiology and Biotechnology | Korea Science*. <https://koreascience.kr/article/JAKO200411923002078.page>
- Fernández, Victoria, Sotiropoulos, Thomas, Brown, Patrick, 2015, Fertilización Foliar: Principios Científicos y Prácticas de Campo, SN - 979-10-92366-03-7.



**Resultados y discusión.** Los resultados de PCR de las secciones de las plántulas indicaron la presencia de *Bdellovibrio* con fragmentos de amplificación de 800 pb del gen 16S del rRNA, en tallo y hojas, cuando este se aplicó en raíz, y cuando fue aplicado en las hojas, se encontró en tallo y raíz (Cuadro 1). La movilidad de *Bdellovibrio* fue más rápida cuando fue aplicado en las hojas que en raíz, lo que se pudo conocer al identificar mediante PCR la presencia de *Bdellovibrio* en todos los tallos de las plántulas. Se conoce que la vía de administración foliar de nutrientes es de rápida absorción y, además, se ha demostrado que presenta una acción más inmediata que cuando es aplicada en raíz (4). Sin embargo, es importante mencionar que con los dos métodos se puede comprobar que *Bdellovibrio* se transporta dentro de la planta de naranjo agrio.

## INTERACCIÓN ENTRE BIOESTIMULANTES A BASE DE QUITOSANO, *TRICHODERMA*, *BACILLUS* Y EXTRACTOS DE ALGAS EN CULTIVO DE TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICON*)

Daniel Alejandro Anaya Castro, Escobedo Bonilla Cesar Marcial\*, Armenta Bojórquez Adolfo Dagoberto  
Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa

cescobe@ipn.mx

Palabras clave: *Quitosano*, *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., Bioestimulante, Extractos, Fitohormonas, AIA, Giberelinas.

**Introducción.** En México, el cultivo de tomate representa una fuente significativa de ingresos y empleo, con una producción que alcanzó 3.5 millones de toneladas en 2023. En la actualidad, su producción enfrenta a múltiples desafíos relacionados con el aumento de la demanda, la escasez de recursos naturales, la necesidad de reducir el uso de productos químicos y la necesidad por productos más sanos. Los bioestimulantes son sustancias o microorganismos que cuando se aplican a las plantas o al suelo, estimulan procesos naturales que benefician la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y la calidad del cultivo<sup>2</sup>. *Trichoderma* es un género de hongos benéfico y es bien conocido por su capacidad de biocontrol de patógenos y su promoción del crecimiento vegetal mediante la producción de compuestos bioactivos. Por otro lado, *Bacillus* es un género de bacterias crucial en la promoción del crecimiento, la protección de las plantas a través de la producción de antibióticos, la inducción de resistencia sistémica y la producción de fitohormonas promotoras del crecimiento. Los extractos de algas son ricos en fitohormonas y nutrientes. El quitosano se ha utilizado en los últimos años como bioestimulante demostrando efectos positivos en la resistencia a enfermedades y la promoción del crecimiento vegetal<sup>3</sup>.

**Planteamiento del problema.** El cultivo de tomate requiere gran cantidad de fertilizantes lo cual tiene consecuencias negativas para el medio ambiente, los suelos y los consumidores. En los últimos años el uso de bioestimulantes ha ido en aumento ya que ayudan a disminuir la cantidad de fertilizantes químicos, mejora la calidad de frutos y ayuda a satisfacer la demanda del mercado con productos que tengan una menor dependencia de agroquímicos.

**Justificación.** El cultivo de tomate es uno de los más importantes a nivel mundial debido a su alto consumo y valor nutricional. Este enfrenta diversos desafíos como la degradación del suelo, el estrés abiótico y biótico, y la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de recursos. El uso de bioestimulantes ha ido en aumento debido a las demandas del mercado y el uso de algas marinas, algunos microorganismos benéficos, como *Bacillus* y *Trichoderma* y en los últimos años el quitosano. Por lo cual es necesario conocer las interacciones para tener un mejor aprovechamiento de ellos y reducir la cantidad de fertilizantes químicos utilizados.

**Objetivo general.** Evaluar la interacción entre quitosano, *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp. y extractos de algas en plántula y producción de tomate.

### Objetivos particulares.

1. Aislar y seleccionar cepas de *Trichoderma* pp. y *Bacillus* spp. provenientes de cultivos y suelos de Sinaloa que promueven el crecimiento del tomate.
2. Identificar molecularmente las mejores cepas de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp.
3. Comparar extractos de algas comerciales y producidas en laboratorio en plántula de tomate.

4. Seleccionar la mejor dosis y el mejor peso molecular de quitosano que promuevan el crecimiento en el cultivo de tomate.
5. Evaluar la interacción entre las mejores cepas de *Trichoderma* y *Bacillus*, dosis de quitosano y extractos de algas en plántula de tomate en condiciones de invernadero.
6. Evaluar los mejores tratamientos de la interacción entre quitosano, *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp. y extractos de algas en condiciones de campo en la producción de tomate.

**Estrategia metodológica.** Los experimentos se llevarán a cabo en el invernadero y campo experimental del CIIDIR-Sinaloa, para el aislamiento de cepas de *Trichoderma* se utilizará la técnica de Papavizas y Dayer<sup>4</sup> y para *Bacillus* se usará la técnica de Ohba y Aizawa<sup>1</sup>, se tomarán muestras de suelo de la rizosfera en cultivos del valle agrícola de Sinaloa y el aislamiento de los microorganismos se hará en el laboratorio de nutrición vegetal del CIIDIR-Sinaloa, a las cepas aisladas se les harán pruebas para conocer cuáles tienen la capacidad de producir AIA y giberelinas para su selección y posterior prueba en plántula de tomate donde las mejores cepas se identificarán molecularmente. Se llevarán a cabo pruebas de cada bioestimulante por separado a nivel plántula, se probarán las cepas de *Trichoderma* y *Bacillus* aisladas. Tres extractos de algas comerciales y dos extractos de *Macrocystis* y *Sargassum* obtenidas en laboratorio. Para el quitosano probarán 3 diferentes pesos moleculares bajo, medio y alto, además de uno extraído en laboratorio. Una vez obtenidos los resultados por separado se harán interacciones entre los mejores bioestimulantes evaluados a nivel plántula, de los mejores tratamientos obtenidos de estas interacciones se llevará a cabo un experimento en campo para evaluar su producción de fruto de tomate.

**Resultados esperados.** Se obtendrán diferentes mezclas entre bioestimulantes con capacidad de promover el crecimiento de tomate las cuales podrán disminuir la cantidad de fertilizantes químicos a utilizar.

### Referencias.

1. Claus, D., y Berkeley, R. C. W., 1986, Genus *Bacillus* Cohn 1872, in: *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Vol. 2 (P. H. A. Sneath, ed.), Bergey's Manual Trust, Williams and Wilkins, Baltimore, pp. 1105–1139.
2. Du Jardin, P. (2015) *Plants Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulations*. Scientia Horticultura, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
3. El Hadrami, A., Adam, L. R., El Hadrami, I., & Daayf, F. (2010). Chitosan in plant protection. *Marine drugs*, 8(4), 968–987. <https://doi.org/10.3390/md8040968>
4. Papavizas G., y Davey C. 1959. Evaluation of various media and antimicrobial agents for isolation of soil fungi. *Soil Science* 88: 112-117.

## APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS BIOTECNOLÓGICAS PARA DISMINUIR LA CARGA DEL VIRUS DE LA NECROSIS INFECCIOSA HIPODÉRMICA Y HEMATOPOYÉTICA (IHHNV) DE CAMARONES (*PENAEUS VANNAMEI*)

Diana Laura Báez Moreno, Pindaro Álvarez Ruiz\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa

palvarez@ipn.mx

Palabras clave: camarón blanco, proteínas recombinantes, silenciamiento de genes, inmunoestimulantes

**Introducción.** El camarón de cultivo tiene una importancia económica que ha ido en aumento derivado de su demanda. Durante el 2023 México se posicionó como una de las naciones con mejor producción de camarón con más de 192 mil 600 t generadas con un valor económico equivalente a más de 19 mil 800 millones de pesos (1). Sin embargo, la demanda y aumento de intensidad en los cultivos favorece la manifestación de patógenos que perjudican la producción conduciendo a pérdidas monetarias. En este sentido, IHHNV incluido como un patógeno de declaración obligatoria por la Organización Mundial de Sanidad Animal (2), afecta a *Penaeus vannamei* causando el síndrome de deformidad enana ocasionando hasta el 50% de pérdidas económicas (3). No obstante, su impacto se ha minimizado ya que no es letal para camarón blanco, a pesar de ello, el impacto financiero debido a la disparidad de tallas aunado a que los métodos de control convencionales son insuficientes requieren la búsqueda de alternativas para erradicarlo.

**Planteamiento del problema.** Aunque IHHNV es un virus que no es letal para el camarón blanco, en algunos casos llega a causar pérdidas económicas de hasta un 50% en los cultivos. Los métodos de control actuales son insuficientes y casi inexistentes, por lo cual, es una demanda la evaluación de estrategias biotecnológicas que permita combatirlo eficientemente.

**Justificación.** *P. vannamei* es el crustáceo más cultivado en el mundo, por su demanda, la producción aumenta cada año. Sin embargo, este aumento promueve el incremento de las densidades de cultivo favoreciendo la aparición de enfermedades. Históricamente las enfermedades virales han sido las más dañinas ya que causan mortalidad y baja calidad en los organismos. En este sentido, IHHNV retrasa el crecimiento y causa deformidades en *P. vannamei* provocando pérdidas económicas de hasta el 50%, además este virus se transmite de manera vertical a la progenie y puede aumentar la susceptibilidad a otros patógenos. Los métodos de control convencionales no han logrado erradicarlo de los laboratorios de producción de postlarvas y es debido a esto, que es una demanda de los productores de postlarvas el diseño de una estrategia biotecnológica para combatir al virus de reproductores y obtener lotes de postlarvas libres de IHHNV. Por lo anterior, el presente estudio busca la aplicación de herramientas biotecnológicas como proteínas recombinantes, inmunoestimulantes y silenciamiento de genes virales mediante dsRNA, combinadas con el manejo de parámetros físico químicos como la temperatura y salinidad, para disminuir la carga de IHHNV de camarones reproductores infectados y obtener lotes de postlarvas libres del virus.

**Objetivo general.** Aplicar herramientas biotecnológicas para disminuir la carga del virus de la necrosis infecciosa hipodérmica y hematopoyética (IHHNV) en camarones (*Penaeus vannamei*).

**Objetivos particulares.** Evaluar la carga viral en camarones infectados experimentalmente con IHHNV, antes y después de ser

sometidos a un periodo de hipotermia (18-20 °C), hipertermia (32-34 °C), alta salinidad (45 UPS) y baja salinidad (5 UPS). Evaluar la carga viral en camarones infectados experimentalmente con IHHNV, antes y después de ser tratados con rIHHNV (proteína recombinante), inmunoestimulantes y dsRNA. Evaluar la carga viral en camarones infectados experimentalmente con IHHNV, antes y después de ser tratados con combinaciones de rIHHNV, inmunoestimulantes y dsRNA en diferentes temperaturas y salinidades. Aplicar el mejor tratamiento a reproductores de *Penaeus vannamei* infectados experimentalmente con IHHNV y evaluar la presencia del virus en la progenie.

**Estrategia metodológica.** Se producirá la proteína recombinante correspondiente a la proteína de la cápside del virus. Se llevará a cabo la producción de dsRNA (ORF 2 y 3). Posteriormente se realizará extracción de RNA y DNA de hemocitos para proceder a la evaluación de la expresión de genes de respuesta inmune del camarón, y finalmente se cuantificará la carga viral, para esto se realizarán bioensayos que permitirán evaluar el efecto de cada tratamiento (fig. 1).

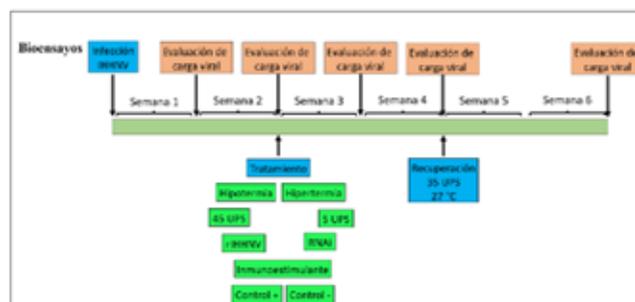


Figura 1. Diseño experimental para evaluar las propiedades antivirales de los tratamientos

**Resultados esperados.** Se espera que la carga viral de camarones infectados con IHHNV pueda ser disminuida hasta niveles no detectables implementando estrategias biotecnológicas y adicionalmente la obtención de lotes de postlarvas libres del virus.

### Referencias.

1. CONAPESCA. 2023. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/se-posiciona-mexico-como-el-segundo-mejor-productor-decamaron-en-latinoamerica?idiom=es-MX>. Revisado: viernes, 21 de junio, 2024.
2. Lightner, D.V., Redman, R.M., Poulos, B.T., Nunan, L.M., Mari, J.L., Hasson, K.W., 1997. Risk of spread of penaeid shrimp viruses in the Americas by the international movement of live and frozen shrimp. Rev. Sci. Tech. - Off. Int. Epizoot. 16, 146–160.
3. Lightner, D.V., 2011. Virus diseases of farmed shrimp in the Western Hemisphere (the Americas): A review. J. Invertebr. Pathol. 106, 110–130. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2010.09.012>.

## PRODUCCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS BIOPOLÍMEROS CON ACTIVIDAD SURFACTANTE PRODUCIDOS POR MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA RÍA LAGARTOS (YUCATÁN, MÉXICO)

Eduardo Quitzé Vivanco Núñez, Paulina Gutiérrez Macías, Blanca Estela Barragán Huerta\*

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas

bbarraganh@ipn.mx

Palabras clave: *Surfactantes, Emulsificantes, Ría Lagartos, Halófilas, Yucatán*

**Introducción.** En la actualidad, las actividades humanas han impactado grandes extensiones de tierra, resultando en la presencia de altas cantidades de contaminantes, desde desperdicios hasta compuestos químicos altamente persistentes en el ambiente. Ante esta problemática, el estudio de los biosurfactantes ofrece una oportunidad en diferentes campos de aplicación, representando una alternativa más sustentable en comparación con sus homólogos sintéticos (Cartaya et al., 2015).

Por ello, se ha puesto un gran esfuerzo en desarrollar alternativas más sostenibles y con mayor degradabilidad. Estudios preliminares han evidenciado la capacidad emulsificante de compuestos sintetizados por microorganismos autóctonos de muestras de agua y sedimento de Ría Lagartos, Yucatán.

**Metodología.** Se tomaron muestras de agua y sedimento de Ría Lagartos (21.5802, -88.0013), las cuales fueron analizadas para determinar los niveles de nitrógeno total, fósforo total, grasas y aceites, coliformes totales, carbono orgánico total, potasio, calcio, magnesio, temperatura del agua, pH, conductividad, TDS, salinidad y porcentaje de oxígeno disuelto, de acuerdo con las Normas Mexicanas vigentes (NMX). A partir de las muestras colectadas, se incubaron en Medio Salino Mineral con 2% de NaCl y se aislaron en placas Petri. Las cepas fueron incubadas y se realizaron cinéticas de crecimiento (absorbancia a 600 nm), pruebas de emulsificación (E24) y medición de tensión superficial.

Los compuestos en el sobrenadante fueron recuperados mediante una extracción en fase sólida, mientras que los compuestos intracelulares fueron recuperados por evaporación utilizando acetato de etilo. Con los extractos obtenidos, se llevaron a cabo pruebas químicas prospectivas. Además, se obtuvieron los cromatogramas de las muestras extraídas mediante HPLC.

**Resultados y discusión.** A partir de las muestras colectadas (Cuadro 1) se lograron aislar tres cepas. Las tres cepas presentaron actividad emulsificante de los compuestos intracelulares. El sobrenadante de solo una cepa fue la capaz de reducir la tensión superficial, el resto no presentó actividad surfactante en el sobrenadante.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de las muestras de agua del sitio de estudio

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Altitud	-144 msnm	Nitrógeno Total	2.41 mg/L
Temperatura	28.6 °C	Fosforo Total	8.12 mg/L
pH	8.21	Grasas y Aceite	14.16 mg/L
Salinidad	5.2 m/L	COT	150.92 mg/L
% OD	67 %	Coliformes T.	180 NMP/100mL

Derivado de las pruebas químicas prospectivas, el compuesto intracelular de las tres cepas dio resultado positivo para lípidos y negativo para carbohidratos y proteínas, mientras que el compuesto extracelular dio resultado positivo para la prueba de lípidos y proteínas.

El cromatograma obtenido de la muestra extracelular muestra un total de 4 analitos (Figura 1), por lo que se requieren otros ensayos para determinar la naturaleza del compuesto de interés.

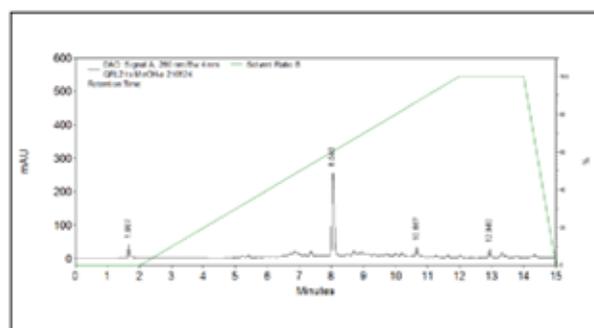


Figura 1. Cromatograma de HPLC correspondiente a la muestra reductora de tensión superficial, donde se observan 4 analitos perfectamente definidos.

**Conclusiones y perspectivas.** Se aislaron tres cepas a partir de las muestras de agua y sedimentos del sitio de estudio, las cuales presentan un compuesto con actividad emulsificante. No obstante, una de las cepas presenta el mayor potencial, ya que también mostró una disminución en la tensión superficial. Esto es prometedor, pues su actividad surfactante es similar a la reportada por surfactantes comerciales como Tween 20 y bromuro de cetiltrimetilamonio.

Las pruebas químicas prospectivas sugieren la presencia de lípidos con actividad emulsificante. Los resultados obtenidos para el compuesto extracelular muestran la presencia de lípidos y proteínas; sin embargo, el cromatograma revela cuatro analitos bien diferenciados, por lo que los resultados actuales son insuficientes para determinar si se trata de un lípido, una proteína o una lipoproteína.

Actualmente, se está trabajando en la identificación de las cepas y de los compuestos producidos por estas.

**Agradecimientos.** Se agradece al Instituto Politécnico Nacional y a CONAHCYT por el apoyo proporcionado.

### Referencias.

-Cartaya, O, Reynaldo, I, Peniche, C & Garrido, M. 2011. Empleo de polímeros naturales como alternativa para remediación de suelos contaminados por metales pesados. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 27 (1)

# ANÁLISIS METAGENÓMICO DEL RESISTOMA BACTERIANO EN RÍOS Y ÁREAS COSTERAS DE TAMAULIPAS

Eleazar López Pecina, Ana Verónica Martínez Vázquez, Virgilio Bocanegra García\*.

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica

vboanegra@ipn.mx

Palabras clave: metagenómica, resistoma, ríos, zona costera.

**Introducción.** La resistencia a los antibióticos es una grave amenaza para la salud pública mundial debido a la capacidad de las bacterias para inactivar estos medicamentos, lo que ha provocado un alarmante aumento en las muertes asociadas a infecciones resistentes (1). El uso de antibióticos en la clínica, la ganadería y la agricultura puede llevar a la contaminación del medio ambiente, favoreciendo el desarrollo de bacterias resistentes que pueden infectar a humanos y otros organismos (2). Los genes de resistencia a los antibióticos han sido identificados en una amplia variedad de ecosistemas acuáticos, tanto en agua dulce como salada, así como en plantas de tratamiento de aguas residuales. La presencia de estos genes en el agua representa un riesgo significativo para la salud humana (3). Por lo tanto, es crucial entender la prevalencia y distribución del resistoma en bacterias presentes en estos entornos. El objetivo de esta investigación es evaluar la prevalencia y distribución del resistoma en bacterias presentes en cuerpos de agua estratégicos del estado de Tamaulipas, lo cual es esencial para comprender el impacto de la resistencia a los antibióticos en la región y desarrollar estrategias de mitigación.

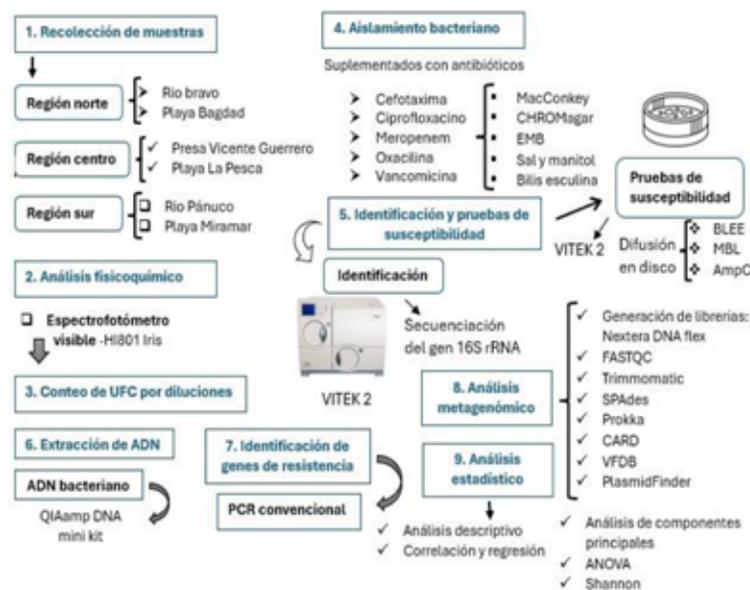
**Planteamiento del problema.** Los genes de resistencia pueden diseminarse a través de cuerpos de agua, como ríos y zonas costeras, que actúan como reservorios y vías de propagación de estos genes. En el estado de Tamaulipas, se encuentran importantes cuerpos de agua que podrían estar contaminados con estos genes debido a las actividades humanas. Sin embargo, no se han realizado estudios exhaustivos que evalúen la prevalencia y distribución de los genes de resistencia en estos cuerpos de agua.

**Justificación.** La resistencia a los antibióticos es un grave problema de salud global, y es una preocupación creciente. En Tamaulipas, los cuerpos de agua, incluidos ríos y zonas costeras, pueden actuar como reservorios y vías de propagación de genes de resistencia. Sin embargo, faltan estudios exhaustivos que analicen la prevalencia y distribución de genes de resistencia. Este estudio se propone realizar un análisis metagenómico del resistoma bacteriano en los cuerpos de agua de Tamaulipas, proporcionando datos cruciales sobre la presencia de genes de resistencia, su impacto en la salud pública y los ecosistemas, y estableciendo una base para futuras estrategias de salud pública.

**Objetivo general.** Evaluar la prevalencia y distribución del resistoma en bacterias presentes en cuerpos de agua estratégicos del estado de Tamaulipas.

**Objetivos particulares.** Determinar la prevalencia de bacterias resistentes a antibióticos en cuerpos de agua de la zona norte, centro y sur del estado de Tamaulipas. Caracterizar el resistoma presente en bacterias aisladas en cuerpos de agua de la zona norte, centro y sur de Tamaulipas. Evaluar la relación entre el resistoma detectado y factores ambientales. Comparar la resistencia a antibióticos entre diferentes tipos de cuerpos de agua en Tamaulipas.

## Estrategia metodológica.



**Resultados esperados.** La prevalencia y distribución de los genes varían significativamente según la región geográfica, con una mayor concentración en los cuerpos de agua cercanos a zonas urbanas, ganaderas e industriales. Se espera encontrar una alta prevalencia de enterobacterias con características de multidrogoresistencia, específicamente a ESBL, tetraciclinas, quinolonas y carbapenémicos. Además, en estas áreas, se observa un predominio de genes de resistencia que codifican betalactamasas, como *bla*TEM, *bla*SHV, *bla*CTX-M, y *bla*OXA-48, junto con los genes *tet* y *qnr*.

## Referencias.

- Larsson J., Flach F.C. 2021. Antibiotic resistance in the environment. *Nature reviews microbiology*. 20: 257-269.
- Reddy s., Kaur K., Barathe P, Shiram V. 2020. Antimicrobial resistance in urban river ecosystems. *Microbiological research*. 263: 127-135.
- Ashish S., Rajinder K., Shashikala V., Samer S. 2022. Antimicrobials and antibiotic resistance genes in water bodies: pollution, risk and control. *Frontiers in environmental science*. 10: 1-13

## CAPACIDAD ANTAGONISTA *in vitro* DE LA LEVADURA *Meyerozyma guilliermondii* LCBG-03 CONTRA HONGOS *Penicillium* SPP. PATÓGENOS DE LIMÓN

Eliud de la Cruz García, José Alberto Narváez Zapata, Claudia Patricia Larralde Corona\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Biotecnología Genómica

plarralde@ipn.mx.

Palabras clave: *Meyerozyma*, biocontrol, *Penicillium digitatum*, *P. funiculosos*, limón

**Introducción.** Los frutos cítricos enfrentan una amenaza persistente: los hongos fitopatógenos. Desde la cosecha hasta el almacenamiento y el transporte, estos frutos son vulnerables a las infecciones. Entre los principales agentes causales de pérdidas poscosecha se encuentran el moho verde, el moho azul y la podredumbre agria, causados por *Penicillium digitatum*, *P. italicum* y *Geotrichum citri-aurantii*, respectivamente. Es importante destacar que sólo *P. digitatum* representa casi el 90% de las pérdidas poscosecha en los cítricos (1). Se ha demostrado que usando levaduras antagonistas como *Meyerozyma guilliermondii* se puede combatir eficazmente estos y otros patógenos fúngicos en diversos frutos (2). En este trabajo, se realizó la caracterización de la capacidad infectiva de dos cepas de *Penicillium* sobre limones italianos (*Citrus limon* var Eureka), para posteriormente confrontarlos *in vitro* con la levadura *Meyerozyma guilliermondii* LCBG-03, a dos concentraciones iniciales de levadura, con el fin de establecer su capacidad antagonista, y con el fin de realizar el montaje del sistema experimental que servirá para, posteriormente, estudiar los cambios transcriptómicos en *M. guilliermondii* durante su interacción bipartita con los hongos *Penicillium*.

**Metodología.** Se utilizó *M. guilliermondii* (LCBG-03), *P. digitatum* (EF1) y *P. funiculosus* (H38) provenientes de la colección de cepas del Laboratorio de Biotecnología Industrial del CBG-IPN. El grado de infección de EF1 y H38 en limones fue evaluado cualitativamente y después se evaluó la capacidad de *M. guilliermondii* LCBG-03 de inhibir el crecimiento de ambos fitopatógenos (EF1 y H38) en placas de PDA al 50% usando concentraciones de  $10^6$  y  $10^8$  UFC/ml de levadura.

**Resultados y discusión.** La capacidad de infección de las dos cepas de *Penicillium* fue evaluada cualitativamente, inoculando sobre limones sanitizados y puestos a humedad relativa alta y temperatura de 29 °C. Después de 10 días, se observó a simple vista un avance significativo de la infección por *Penicillium* spp. en los limones (Figura 1).



Figura 1. Infección final a los 10 días causada por las dos cepas de *Penicillium* (*digitatum* y *funiculosus*) sobre limones italianos

En pruebas *in vitro*, colocando un césped de levadura a la concentración deseada, y posteriormente un taquete de micelio del hongo a probar, *P. funiculosus* H38 presentó un mayor crecimiento de

micelio que *P. digitatum* EF1. Al interactuar con LCBG-03, ambas cepas de *Penicillium* spp. experimentaron una reducción parecida en su crecimiento (Fig. 2).

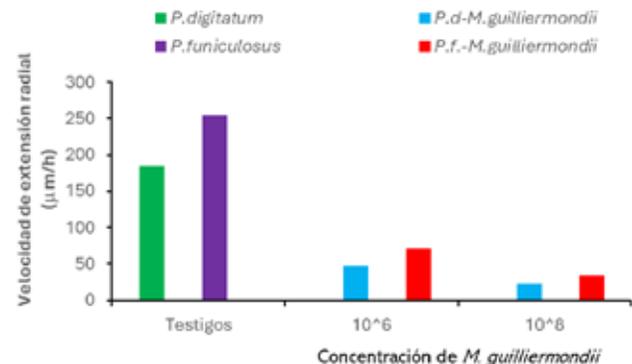


Figura 2. Efecto de *M. guilliermondii* LCBG-03 sobre la velocidad de extensión radial ( $V_r$ ) de *P. digitatum* y *P. funiculosus*, a dos concentraciones diferentes de levadura, placas con PDA al 50%.

Se observó una reducción del crecimiento de *P. digitatum* del 74 y 88% con  $10^6$  y  $10^8$  UFC/ml, respectivamente; y de *P. Funiculosus* del 72 y 87% para las mismas concentraciones. Estos resultados superaron a los obtenidos por otros autores(3, 4).

**Conclusiones y perspectivas.** *M. guilliermondii* LCBG-03 es capaz de inhibir el crecimiento de *P. digitatum* y *P. funiculosus* en una proporción similar. Se observó que una mayor concentración de levadura resulta en una inhibición mayor del crecimiento de los hongos. Estos ensayos sientan las bases de interacción para realizar el análisis transcriptómico de *M. guilliermondii* para identificar los procesos moleculares involucrados en su acción de biocontrol.

**Agradecimientos.** CONAHCYT por la beca a E.D.L.C.G.

### Referencias.

- Moraes Bazioli J, Belinato JR, Costa JH, Akiyama DY, De Moraes Pontes JG, Kupper KC, Augusto F, de Carvalho JE, Fill, TP. (2019). Biological Control of Citrus Postharvest Phytopathogens. *Toxins*, 11(8), 460.
- Herrera-Balandrano DD, Wang SY, Wang CX, Shi XC, Liu FQ, Laborda P. (2023). Antagonistic mechanisms of yeasts *Meyerozyma guilliermondii* and *M. caribbica* for the control of plant pathogens: A review. *Biol Control*, 186, 105333.
- Agirman, B & Erten, H. (2020). Biocontrol ability and action mechanisms of *Aureobasidium pullulans* GE17 and *Meyerozyma guilliermondii* KL3 against *Penicillium digitatum* DSM2750 and *Penicillium expansum* DSM62841 causing postharvest diseases. *Yeast*, 37(9-10), 437-448
- Liu Y, Yao S, Deng L, Ming J, & Zeng K. (2019). Different mechanisms of action of isolated epiphytic yeasts against *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* on citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 100-110. doi:https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.03.002

## EVALUACIÓN DEL PERFIL QUÍMICO DEL MEZCAL ASOCIADO A LA ÉPOCA DEL AÑO, PERFIL MICROBIANO Y ESPECIE DE *Agave* DE TRES VINATAS DEL ESTADO DE DURANGO

Fabiola Avila Valenzuela, Rene Torres Ricario\* Amanda Alejandra Oliva Hernandez

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango

rtorres@ipn.mx

Durango, mezcal, compuestos volátiles, microorganismos, fermentación.

**Introducción.** El estado de Durango es uno de los trece estados que cuentan con denominación de origen para la producción de mezcal. Siendo este un signo distintivo del estado, el Consejo Mexicano regulador del mezcal (COMERCAM). El estado de Durango es un territorio diverso por su compleja fisiografía y su diversidad climática. Esto favorece a la multiplicidad de hábitats propicios para el crecimiento de un gran número de especies. Durango se cuenta entre los estados con mayor diversidad de *Agave*, junto con Oaxaca (32 especies), Puebla (31 especies), Sonora (30 especies) (Almaraz-ALBARCA, *Agave durangensis*, D.f.2011, pág. 16-18).

**Metodología.** Se eligió vinata del estado de Durango ubicada en el municipios de Durango, Tepehuanes, la vinata fue identificada como productora de mezcal categoría artesanal, las muestras fueron tomadas de las tinas de fermentación en temporada de primavera, el volumen de la muestra fue de 500 mL, los tiempos de muestreo fueron en el inicio, durante y al finalizar la fermentación, el mosto recolectado se trasladó en cadena de frío, posteriormente las muestras fueron preparadas; se destilaron 200 mL de muestra de mosto para recuperar los compuestos volátiles y poder ser analizados cromatográficamente posteriormente. Se determinó azúcares reductores totales y porcentaje de alcohol en volumen a las muestras recolectadas del mosto.

**Resultados y discusión.** El consumo de azúcares de las fermentaciones fue casi en un 80 % de sus valores iniciales, en su mayoría los valores de consumo de azúcar en el muestreo durante la fermentación fueron cercanos al 5 % de ART. La producción de alcohol mayor fue de 8 °GL, el rango menor de producción de alcohol fue de 1.8 °GL.

Cuadro 1. Fermentaciones de mosto de maguey cenizo en época de primavera.

MUESTRA	RENDIMIENTO (Kg/L 50°GL)	AZUCAR EN PIÑA (%ART)	TIEMPO DE FERMENTACIÓN (DÍAS)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)	INTERVALOS DE TEMPERATURA (°C)
T424	36.58	24.08	16	38	24	3
T524	24.28	21.5	11	36	25	2
T624	16.58	20.7	7	28.5	26	4
T924	73	23.9	9	32	30	1.5

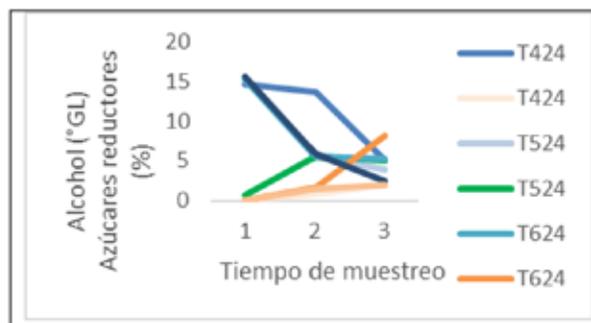


Figura 1. Consumo de azúcar y producción de alcohol en mosto de maguey cenizo en temporada de primavera

**Conclusiones y perspectivas.** El rendimiento en la producción del mezcal no depende únicamente del contenido de azúcares presentes en las piñas del lote, es necesario co-relacionar el rendimiento con el contenido de azúcares presentes en la materia prima y los microorganismos presentes durante la fermentación. El tiempo de duración de las fermentaciones prolongadas o cortas no garantizan producción y/o acumulación de alcoholes de interés para la industria.

**Agradecimientos.** Productora de mezcal Hacienda Dolores por facilitarlas las muestras y producto destilado en las instalaciones.

### Referencias.

- Gallegos P., Garcia L., Espinosa A., Torres C., Avelar A., Cano A., Garcia A. Ruiz S., Flores M., Castillo A., Gonzales F., Delgado A., Molina F., Jacques C., Hernandez A., Delaye L., Aguirre X., Kirchmayr M., Morales L., Mancera E., Deluna A., 2023, Yest diversity in open agave fermentations across Mexico. *BioRxiv*, preprint doi.
- López R., Zuleta H., Hernandez A., Herbert J., 2021. Comparative NMR Metabolomics Profiling Between Mexican Ancestral & Artisanal Mezcals and Industrialized Wine to Discriminate Geographical Origins, Agave Species or Grape Varieties and Manufacturing Processes as a Function of their Quality Attributes. *Foods*, 10, 157.
- Nolasco H., Santiago J., Wachter C., Ruiz F., 2018. Predominant Yeasts During Artisanal Mezcal Fermentation and their Capacity to Ferment Maguey Juice. *Frontiers in microbiology*, volumen 9:2900.

## MOLECULAR MECHANISM OF OTOTOXICITY AS A SIDE EFFECT OF ANTIBIOTICS

Iftekhar Ahmad Khan, Claudia Guadalupe Benitez Cardoza\*, Absalom Zamorano Carrillo

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Laboratorio de Bioquímica y Biofísica Computacional.

cbenitez@ipn.mx

Key words: ototoxicity, antibiotics, molecular mechanism.

### Introduction.

Ototoxicity refers to the medicinal adverse reaction that affects the auditory nerve or inner ear and is characterized by vestibular or cochlear dysfunction. Over the past few decades, the spectrum of drug-induced hearing loss has increased drastically. More than 600 different medication groups have the potential to be ototoxic. The most often used ototoxic medications include loop diuretics, macrolide antibiotics, aminoglycoside antibiotics, platinum-based chemotherapeutic medicines, and antimalarials. Moreover, ototoxic drugs can be harmful and result in severe morbidity, even though they are essential to modern medicine. Certain ototoxic agents, primarily drugs and chemicals, can cause the cochlea to produce free radicals which have the ability to oxidatively damage DNA, lipids, and proteins within cells. However, there are variety of pathways, through which ototoxic drugs can disrupt the proteins found in the inner ear. These include loss of protein-protein connections, aberrant accumulation, targeted destruction, mechanical injury, excitotoxicity, ischemia, metabolic depletion, ionic imbalance. Many proteins found in ear can be target of ototoxic drugs and in consequence be involved in the molecular mechanisms of this adverse effect; some of them include; transmembrane inner ear protein, otoferin, cadherin 23 (CDH 23), stereocilin, harmonin, protocadherin-15, radixin, whirlin, espin, prestin, wofferin wolframin, connexin 26 and 30, claudin 14, tricellulin, cochlin, collagen xi, and alpha-tectorine. In this work we will use a combination of bioinformatical, computational and *in vitro* experiments to better understand the molecular mechanisms associated to ototoxicity damage, caused by aminoglycosides and to look for novel strategies to avoid it, and that keep the cochlea and its structural integrity intact.

### Justification.

Ototoxicity affects 20-63 % of people consuming aminoglycosides. The most common prevention measure is to stop the medicine to prevent further damage. **But it doesn't reverse any damage that's already happened.** There is no specific treatment for ototoxicity so this study is very important to identify the potential target and otoprotective agents.

### Aim of the project.

To improve our understanding about the molecular mechanisms associated with ototoxicity caused by antibiotics (aminoglycosides) and with this information, to propose new preventive strategies for this adverse effect.

### Specific objectives.

To recognize protein targets of ototoxic aminoglycosides, and to describe the metabolic or signalling pathway in which they participate, and molecules they interact with.

To identify possible otoprotective agents

To confirm the otoprotective activity of selected molecules.

### Materials and methods.

We will used SwissTargetPrediction and SUR PRED Target Prediction computational programs to recognize protein targets of ototoxic aminoglycosides. Also, we will use GENEMANIA, STRING and

Cytoscape programs to describe the metabolic or signalling pathway in which they participate, and molecules they interact with. AlphaFold, I-TASSER and Rosetta Commons will be used to obtain three-dimensional models of selected proteins. Using these models and high throughput strategies, possible otoprotective molecules will be searched for. The otoprotective activity of the selected molecules will be confirmed *in vitro* using neurological cell-lines evaluating the viability and programmed cell death.

### Expected results.

To enhance management of strategies to minimize hearing loss and other symptoms in patients treated with ototoxic antibiotics. This finding lead to improve clinical practices, enhancing patients' safety while maintaining efficacy of essential antibiotics. To develop protective agents and strategies to mitigate ototoxic effect while maintain antibiotic efficacy.

### References.

- Barbieri, M. A., Cicala, G., Cutroneo, P. M., Mocciano, E., Sottosanti, L., Freni, F., Galletti, F., Arcoraci, V., & Spina, E. (2019). Ototoxic Adverse Drug Reactions: A Disproportionality Analysis Using the Italian Spontaneous Reporting Database. *Frontiers in pharmacology*, 10, 1161. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01161>
- Bisht, M., & Bist, S. S. (2011). Ototoxicity: the hidden menace. *Indian journal of otolaryngology and head and neck surgery : official publication of the Association of Otolaryngologists of India*, 63(3), 255–259. <https://doi.org/10.1007/s12070-011-0151-8>
- Campbell, K. C., & Le Prell, C. G. (2018). Drug-induced ototoxicity: Diagnosis and monitoring. *Drug Safety*, 41, 451-464.
- Coffin, A. B., Boney, R., Hill, J., Tian, C., & Steyger, P. S. (2021). Detecting novel ototoxins and potentiation of ototoxicity by disease settings. *Frontiers in neurology*, 12, 725566.
- Dillard, L. K., Lopez-Perez, L., Martinez, R. X., Fullerton, A. M., Chadha, S., & McMahon, C. M. (2022). Global burden of ototoxic hearing loss associated with platinum-based cancer treatment: A systematic review and meta-analysis. *Cancer epidemiology*, 79, 102203.

## ANALYSIS OF THE HSC NICHE IN SHR RATS

Isaac Hernández Rojo, Ivette Astrid Martínez Vieyra, Diana Alicia Millan Aldaco, Ruth Rincón Heredia, Nury Pérez Hernández, Doris Atenea Cerecedo Mercado\*.

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía

dcereced@ipn.mx.

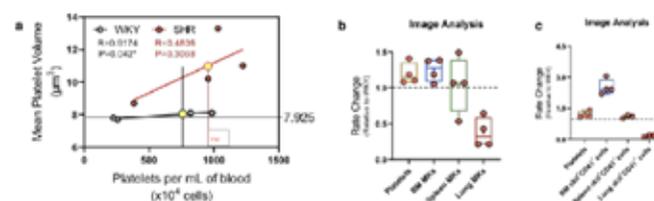
Palabras clave: *Hypertension, Platelets, Thrombopoiesis, HSCs niche*

**Introducción.** Cardiovascular diseases (CVDs) are the leading cause of global mortality [1]. Hypertension, the primary risk factor for CVDs, accounts for approximately 10.7 million deaths annually, surpassing the mortality rates of all cancers combined. Ischemic heart disease, mainly resulting from atherosclerosis of the coronary artery, is the predominant cause of death due to hypertension. Platelet activation plays a crucial role in the development and progression of atherosclerosis by forming thrombi and recruiting myeloid cells to sites of injury, where atheromas (plaques) form [2]. The mean platelet volume (MPV), an indicator of platelet activation, tends to rise in hypertensive patients, even at pre-hypertensive stages [3]. Despite its importance, the mechanisms regulating MPV are not fully understood. Here, we perform a study using direct imaging in Spontaneously hypertensive (SHR) rats, a model of genetic hypertension, revealing for the first time that lung and bone marrow thrombopoiesis are altered in opposite ways. This finding indicates that both organs may contribute to increased MPV in hypertension, presenting new opportunities to explore and target MPV in CVDs and other health conditions.

**Metodología.** Animals. Wistar Kyoto (WKY) and Wistar Kyoto Spontaneously Hypertensive (SHR) rats were bred and obtained from the Cellular Physiology Institute (IFC-UNAM). This study complied with all ethical regulations involving experiments with rats, and the Animal Care and Use Committee of ENMH approved all experimental procedures. Blood cell parameters. Platelet count and MPV were measured by the electrical impedance of blood samples of at least 4 rats of each strain (WKY and SHR) at 5 weeks old age. Immunofluorescence staining and imaging of frozen sections of tissues. For immunofluorescence staining, bone marrow, spleen, and lung sections were rinsed with PBS, and postfixed with methanol at -20°C for 5min followed by blocking with 10% goat serum in 0.1% Tween 20 for 3h at room temperature. For megakaryocytes staining anti-CD42b antibody was used at 1:100 dilution in 5% goat GS 0.1% Tween 20/PBS for 48h at 4°C. For myeloid or megakaryocyte progenitors staining anti-CD41 and anti-CKIT antibodies were used at 1:100 dilution in 5% goat GS 0.1% Tween 20/PBS for 72h at 4°C. Primary antibody staining was followed by 3 washes with 0.1% Tween/PBS and 4h incubation with Alexa Fluor 568-conjugated goat anti-rabbit IgG, and/or Alexa Fluor 488-conjugated goat anti-mouse IgG secondary antibodies and 0.2% DAPI. All images were acquired at room temperature using an LSM 800 confocal microscope. Image analysis was performed using the Fiji build of ImageJ.

**Resultados y discusión.** To determine whether our model is suitable for MPV research in hypertension we determined the platelet count and MPV of SHR and WKY rats by electrical impedance, our data revealed a 36% increase in the platelet count and a 30% increase in the MPV of SHR rats (relative to WKY), by linear regression this data suggest that the increase in the MPV is linked to thrombocytosis in hypertension. Because platelets are produced by megakaryocytes in the bone marrow, lungs, and spleen, we measure megakaryocytes and their

progenitors' density in those organs by immunofluorescence laser scan confocal imaging. Our data revealed a 25% increase in megakaryocytes density and a 2-fold increase of their progenitors in the bone marrow, no significant changes on megakaryocytes and their progenitors density in the spleen, and a 50% decrease in megakaryocytes density and a 83% decrease in their progenitors in the SHR lungs. Together this data suggest that increased thrombopoiesis in the bone marrow could be responsible for the increase in the MPV in hypertension. Our data revealed an inverse correlation in megakaryocytes and their progenitors in the bone marrow and lungs, suggesting the existence of an unknown feedback between lung and bone marrow thrombopoiesis, whose implications could be useful for diagnostic and therapeutic purposes in hypertension and other CVDs.



**Figure 1.** Increased MPV and altered thrombopoiesis in SHR rats. a. Mean Platelet Volume and Platelet count linear regression of 4 WKY and 4 SHR rats. b. CD42b Megakaryocytes rate changes in the bone marrow, spleen, and lung of SHR (relative to WKY). c. cKit and CD41 megakaryocyte progenitors rate changes in the bone marrow, spleen, and lung of SHR (relative to WKY).

**Conclusiones y perspectivas.** Our data strongly suggest that increased bone marrow thrombopoiesis could be responsible for the increase in the MPV in spontaneously hypertensive rats. On the other hand, because several studies suggest that thrombopoiesis could be mainly regulated by different cytokines and growth factors in each organ [4], our study offer a cellular target for thrombocytosis and increased MPV in hypertension, which are linked to million deaths annually worldwide.

**Agradecimientos.** We thank the IFC-INAM Unidad de Imagenología, and BL305 lab for its support in this research.

### Referencias.

- [1] Bennett, J. E. et al. NCD countdown 2030: Worldwide trends in non-communicable disease mortality and progress towards Sustainable Development Goal target 3.4. *Lancet* **392**, 1072–1088 (2018).
- [2] Khodadi, E. Platelet Function in Cardiovascular Disease: Activation of Molecules and Activation by Molecules. *Cardiovasc Toxicol* **20**, 1–10 (2020).
- [3] Gang, L., Yanyan, Z., Zhongwei, Z. et al. Association between mean platelet volume and hypertension incidence. *Hypertens Res* **40**, 779–784 (2017).
- [4] Khatib-Massalha, E., & Méndez-Ferrer, S. Megakaryocyte Diversity in Ontogeny, Functions and Cell-Cell Interactions. *Frontiers in oncology* **12**, 840044 (2022).

## ESTUDIO ESTRUCTURAL DE ISOFORMAS DE LA TRIPSINA DIGESTIVA DE CAMARÓN *PENAEUS VANNAMEI*

Isabel Martínez Rocha, Juan Carlos Sainz Hernández\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa

jsainz@ipn.mx

Palabras clave: tripsina, fenotipo, estructura, proteína, *Penaeus*.

**Introducción.** El camarón *Penaeus vannamei* presenta tres isotripsinas (tripsina3.4.21.4.) que son expresadas en la glándula digestiva. Ellas son generadas por dos genes; la isotripsina monomórfica CC que es traducida del gen  $\beta$ , la expresión de este gen esta fijo y se manifiesta en los tres genotipos. El segundo gen, el gen  $\alpha$  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 [1]. 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. Desconocemos los procesos estructurales que provocan mortalidad en organismos que expresan el fenotipo CA. El objetivo en nuestro trabajo describir la estructura molecular y la estabilidad de las isoformas de tripsina digestiva de camarón *Penaeus vannamei*. Se analizarán dos aspectos en este fenómeno: 1. Determinar las diferencias en la estructura molecular y 2. Evaluar la estabilidad de cada isoforma

**Metodología.** Se utilizaron camarones de línea ecuatoriana, talla 15 - 16 g en el Departamento de acuicultura de CIIDIR IPN Unidad Sinaloa. La alimentación consistió en una dieta comercial (35 % proteína). Fotoperiodo con 12:12 h luz/oscuridad, temperatura de  $28 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Aireación constante, con recambio constante y bomba de filtración por arena. Se mantuvieron en tinas de  $2 \text{ m}^2$ . Se estandarizaron las condiciones de aislamiento de las isoformas mediante electroforesis SDS-PAGE. Se cuantifico y corroboré el aislamiento con tinción con plata [2]. Las muestras se almacenaron en  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  20 mM. Se realizará diálisis para eliminar detergentes. Las muestras serán analizadas por técnicas de difracción circular, fluorescencia y absorbancia ultravioleta, en colaboración con ENMH.

**Resultados y discusión.** Para el cumplimiento de los objetivos hemos logrado establecer las condiciones de electroforesis para generar geles que permitan la separación de las isoformas de tripsina (C, B y A). Se han cortado bandas para obtener proteína en la fase acuosa en tampón de fosfato monosódico 20 mM. Se cuantifico las proteínas en el equipo Nanodrop 8000 del laboratorio de equipos especiales del departamento de biotecnología de CIIDIR Sinaloa.

Cuadro 1. Resultados del promedio de concentración de proteína ( $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ ) de las isoformas aisladas (A, B y C).

Muestra	Concentración Promedio	Unidades
A 20	20 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$	15
B 3	22 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$	10
C 28	55 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$	22

Describir la estructura molecular y la estabilidad de las isoformas de tripsina digestiva de camarón *Penaeus vannamei*.

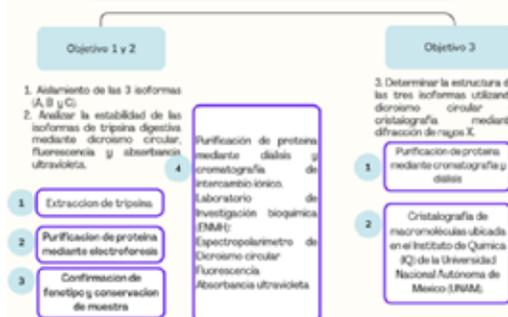


Figura 1. Breve esquema de metodología general para análisis de estructura de las isoformas de tripsina A, B y C.

**Conclusiones y perspectivas.** Según los modelos derivados de los programas de modelado y las necesidades de los análisis de DC, Fluorescencia y UV, se sugiere obtener más de 200  $\mu\text{g}$  de proteína ya que la señal de las láminas beta es más débil que de las hélices Alpha. Aunque aún se desconoce el mecanismo por el cual los organismos que expresan la tripsina CA mueren, es posible que las pruebas con perturbación de pH puedan generar una explicación. Estudios recientes han evidenciado la influencia de la acidificación de los océanos en organismos marinos, aunque no explican el mecanismo de acción. En *Xiphopenaeus kroyeri* realizaron pruebas con pH 7.7 donde detectaron menor crecimiento, cambios de comportamiento (2014). En el pez *Menegastes variabilis* observaron disminución de crecimiento, menor hidrólisis y absorción en intestino [3].

**Agradecimientos.** Agradecimiento especial a Conahcyt por financiamiento de beca y a la Dra. Claudia Benitez Cardoza (ENMH) por su asesoría.

**Referencias.** [1] Sainz, J., Garcia-Carreño, F., Cordoba-Murueta, J., & Cruz-Hernandez, P. (2005). Whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone, 1931) trypsins. Their genotype and modulation. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 326, 105-113.

[2] Aguiñaga-Cruz, J.-A., Sandoval-Castro, E., Garcia-Rodriguez, L., Fierro-Coronado, J., Apún-Molina, J., & Sainz-Hernández, J. (2020). A new disruption observed in the white shrimp *Penaeus vannamei* caused by the absence of a trypsin allele. Aquaculture, Vol. 523, 735191.

[3] Sosa-Ávalos, R., Hernández-Ayón, J., & Lowder, K. (2023). Efectos de la acidificación en organismos marinos de importancia ecológica y económica hacia futuros escenarios. Campeche: La Década del Océano en México 2021-2030: La Ciencia que Necesitamos.

## DISEÑO DE UN DETECTOR C4D PARA LA CUANTIFICACIÓN DE METFORMINA EN AGUA DURANTE SU DEGRADACIÓN POR PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA

Jaime Manuel Castañeda Sánchez, Ignacio Villanueva Fierro\*, Raúl Jacobo Delgado Macuil

Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Durango, Sigma #119 Fracc. 20 de Noviembre II, 34220, Durango, Dgo., México. 6181236546

ifierro62@yahoo.com

Palabras clave: C4D, transformada de Fourier, fotocátalisis, metformina

**Introducción.** La transformada de Fourier (FT) es una técnica matemática para el procesamiento de señales en el dominio del tiempo y transformarlas en un espectro en función de la frecuencia. Esta técnica se utiliza en la detección y análisis de compuestos tales como análisis químico, control de calidad farmacéutica e investigación biomédica (1). En el caso de compuestos farmacéuticos como la metformina (MF), la FT puede ser aplicada en métodos instrumentales de análisis para la identificación y cuantificación de estos compuestos en muestras complejas, mejorando los límites de detección, la resolución de picos y la precisión de masas (2). La Detección de Conductividad Sin Contacto Capacitivamente Acoplada (C4D) es una técnica para el análisis de compuestos que puede detectar una amplia gama de analitos con alta sensibilidad, es rentable y fácil de implementar (3). Cuando se combina con la FT, un C4D puede mejorar las capacidades de detección, proporcionando resultados consistentes y fiables con un mantenimiento mínimo (4). Este proyecto consiste en el diseño de un detector C4D para la cuantificación de MF disuelta en agua una vez que esta haya sido degradada mediante fotocátalisis solar heterogénea. Para esto, se emplearán métodos de procesamiento de señales mediante software, incluida FT, con la cual es posible aumentar la sensibilidad y precisión de detección para bajas concentraciones. En el detector se implementarán cambios estructurales y de materiales como el uso de electrodos recubiertos de plata y una jaula de Faraday para aislar el circuito eléctrico del exterior, esto con el fin de mejorar la conductividad y reducir interferencias en las señales.

**Metodología.** Diseñar un circuito mediante software (LABVIEW) utilizando la transformada de Fourier para el procesamiento de las señales provenientes del C4D. Validar el detector C4D con MF en diferentes soluciones. Obtener el mayor porcentaje de degradación de Metformina mediante fotocátalisis heterogénea solar en un modelo experimental en medio acuoso.

**Resultados y discusión.** Gracias al diseño en LABVIEW y a la implementación de la FT al C4D, fue posible reducir significativamente el ruido en las señales y mejorar la sensibilidad, logrando detectar la Metformina hasta en 1  $\mu\text{g/L}$  (Figura 1).

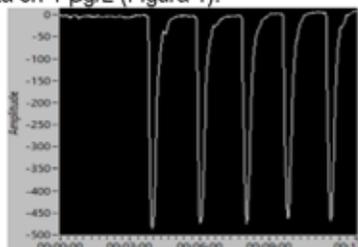


Figura 1. Mediciones de MF en 1  $\mu\text{g/L}$ , mV- Tiempo (min).

En cuanto a la degradación de MET se hicieron experimentos utilizando  $\text{TiO}_2$  como catalizador, concentración inicial de MET de 10 mg/L y variables de pH y concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Figura 2), obteniendo el mayor porcentaje de degradación de 48.45% en condiciones de pH ácido (5.3) y 5mM de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

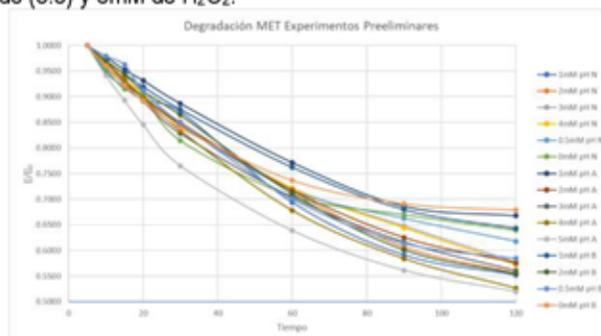


Figura 2. Curvas de degradación MET,  $[C]/[C]_0$  - Tiempo (min).

**Conclusiones y perspectivas.** La FT implementada al software del C4D ha mostrado un aumento en la sensibilidad de detección, se espera que esto en conjunto con las mejoras físicas aun por aplicar, proporcionará aun mejores resultados y así mejorar los límites de detección para llegar hasta los ng/L. Los resultados de degradación de Metformina del 48.45% muestran que el método funciona, aunque aún hay experimentos por hacer, por lo que se espera obtener aun mejores porcentajes de degradación con diferentes variables.

**Agradecimientos.** Agradezco a mis directores y asesores de tesis, así como al CONAHCYT, IPN y al CIIDIR DGO.

### Referencias.

1. Tiquia-Arashiro S., Li X., Pokhrel K., Kassem A., Abbas L., Coutinho O., Kasperek D., Najaf H., Opara S. 2023. Applications of Fourier Transform-Infrared spectroscopy in microbial cell biology and environmental microbiology: advances, challenges, and future perspectives. *Front. Microbiol.* Volumen 14.
2. García-Córcoles M., Rodríguez-Gómez R., de Alarcón-Gómez B., Çipa, M., Martín-Pozo, L., Kauffmann, J., Zafra-Gómez A. 2019. Chromatographic Methods for the Determination of Emerging Contaminants in Natural Water and Wastewater Samples: A Review. *Crit. Rev. Anal. Chem.* Volumen 49. 160-186.
3. Kubáň, P., Hauser P. 2008. A review of the recent achievements in capacitively coupled contactless conductivity detection. *Anal. Chim. Acta.* Volumen 607. 15-29.
4. Tong Y., Li J., Xu Y., Cao L. 2020. Signal Denoising Method Based on Improved Wavelet Threshold Function for Microchip Electrophoresis C4D Equipment. *Complexity.* Volumen 2020. 1-11.

# PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO BIOMECÁNICO Y EVALUACIÓN CLÍNICA/MOLECULAR DE LA OSTEointegración EN IMPLANTES DENTALES MEDIANTE EL MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO

Jesús Alejandro Serrato-Pedrosa, Verónica Loera-Castañeda\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango

Correo electrónico: vloera@ipn.mx

Palabras clave: Método del Elemento Finito, Medicina de Precisión, Análisis Clínico/Molecular de Osteointegración.

**Introducción.** El éxito de los implantes dentales depende de la osteointegración a largo plazo y de minimizar complicaciones como la fractura del implante o la reabsorción ósea. El analizar mecánica y molecularmente los implantes es crucial para alcanzar estos objetivos (1). El Método del Elemento Finito (MEF) en implantes dentales se perfila como una potente herramienta para optimizar aspectos, en el diseño de los implantes y los resultados clínicos. Esta investigación explorará el importante impacto del MEF y de expresión génica en el diseño de implantes dentales y su papel en el avance de la práctica clínica (2-3).

Cuadro 1. Relación biomecánica en los implantes dentales (2-3).

Efecto Mecánico	Efecto Biológico
Control y redistribución óptimo de los campos de esfuerzos	Reducción de reabsorción ósea
Las deformaciones unitarias	Predicción del crecimiento óseo

**Planteamiento del problema.** Analizar la evolución y proceso de osteointegración en pacientes con implantes dentales es prioritario, a fin de comprender los factores predictivos de aceptación y evitar el rechazo del elemento protésico. En este proceso intervienen muchos aspectos, desde el enfoque mecánico, los esfuerzos actuantes; hasta los biológicos (respuesta celular y tisular). Se plantea generar una combinación de análisis numérico-experimentales para predecir la osteointegración en personas con prótesis dentales.

**Justificación.** La cirugía de implantes dentales es una técnica muy difundida con una probabilidad de éxito del 95%. No obstante, pueden producirse complicaciones como el fracaso, que causan molestias y requieren una nueva intervención. La convergencia entre múltiples disciplinas permitirá diseñar implantes altamente adaptados a las características individuales de cada paciente. Logrando cumplir con el enfoque primordial de la medicina altamente personalizada y de precisión.

**Objetivo general.** Predecir numérica, clínica y molecularmente el comportamiento mecano-biológico y de osteointegración de diferentes implantes dentales.

**Objetivos particulares.**

- 1) Evaluar numéricamente diferentes tipos de implantes de fabricantes comerciales bajo condiciones de carga.
- 2) Evaluar numéricamente diferentes tipos de implantes de fabricantes comerciales bajo condición de fatiga.
- 3) Evaluar clínica y molecularmente el proceso de osteointegración de fabricantes comerciales.
- 4) Realizar modelos tridimensionales con diversos tejidos biológicos (biomodelos) sin y con la implementación de implantes dentales comerciales.
- 5) Evaluar numéricamente los biomodelos sin y con la implementación de implantes dentales comerciales.
- 6) Optimizar el diseño mecánico de

implantes dentales comerciales mediante cambios geométricos o de material, a fin de mejorar el proceso de osteointegración.

**Estrategia metodológica.** A través de la obtención de la geometría específica de los implantes a evaluar se generan y asignan las condiciones mecánicas óptimas para analizar el comportamiento mecánico en la distribución de esfuerzos, desplazamientos, deformaciones unitarias y fatiga del material. Se obtendrán muestras por medio de un raspado gingival, producto del proceso de limpieza dental realizado a los pacientes en cada revisión para la evaluación molecular mediante la expresión de genes involucrados en el proceso de osteointegración del implante. Mediante la aplicación de la Imagenología, se construirá la morfología específica de los pacientes con o sin implantes para su análisis empleando el MEF. Finalmente, se realizará una propuesta de diseño de implante dental de acuerdo a la características y tendencias en la fabricación de dichos dispositivos protésicos (diseño generalizado) y una propuesta de acuerdo a la morfología única de un paciente en particular (implante dental personalizado).

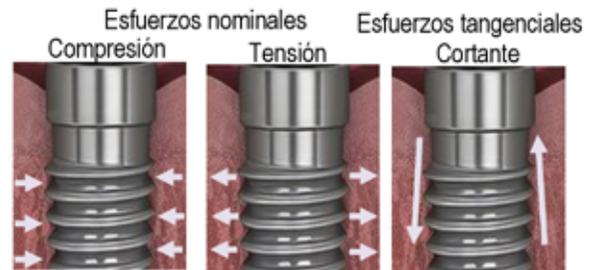


Figura 1. Comportamiento mecánico del implante con tejido biológico.

**Resultados esperados.** 1) Evaluar los efectos biomecánicos en implantes dentales con distintas geometrías y materiales.

2) Observar los cambios en la respuesta clínica/molecular de diferentes implantes dentales.

3) Generar una optimización en el diseño del implante dental mediante cambios geométricos que se ajuste a la morfología del paciente.

**Referencias.** (1) Stoilov, M., Shafaghi, R., Stark, H., Marder, M., Kraus, D. y Enkling, N. 2023. Influence of Implant Macro-Design, -Length, and -Diameter on Primary Implant Stability Depending on Different Bone Qualities Using Standard Drilling Protocols-An In Vitro Analysis. *J. Funct. Biomater.* Vol. 4 (9): 469. (2) Awasthi, S. y Singh, V. P. 2020. Design and analysis of tooth abutment implant. *Journal of Dental Implants.* Vol. 10 (1): 35-44. (3) Thalji, G. y Cooper, L. F. 2014. Molecular assessment of osseointegration in vitro: a review of current literature. *Int. J. Oral. Maxillofac. Implants.* Vol. 29 (2): 171-199.

## EVALUACIÓN DE FORMULACIONES DE *BEAUVERIA BASSIANA*, *ISARIA FUMOSOROSEA* Y *METARHIZIUM ANISOPLIAE* PARA EL CONTROL DE TRIPS EN ARÁNDANO

Jesús Uriel Hernández Armenta, Cipriano García Gutiérrez\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa

cgarciag@ipn.mx

Palabras clave: Hongos entomopatógenos, Trips, Arándano, Bioinsecticidas.

**Introducción.** En Sinaloa el cultivo de arándano es importante por su exportación de frutos de calidad a Estados Unidos. Los trips causan lesiones necróticas en el ovario, corola y el polen de las flores de arándano, afectando la producción de fruto y generando pérdidas económicas para los agricultores. Para su control se usan insecticidas químicos que restringen su exportación, por lo que se está buscando la utilización de hongos entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae*<sup>1</sup>, *Beauveria bassiana* e *Isaria fumosorosea*<sup>2</sup> para controlar esta plaga. Por lo que el objetivo del proyecto es evaluar formulaciones elaboradas a partir de la mezcla de *B. bassiana*, *I. fumosorosea* y *M. anisopliae* para el control de trips.

**Metodología.** Se llevó a cabo colecta e identificación taxonómica de trips y se realizó un bioensayo de patogenicidad in-vitro con las cepas de *B. bassiana*, *I. fumosorosea* y *M. anisopliae*.

**Resultados y discusión.** En la Fig. 1 se muestran características de la identificación taxonómica encontradas para *Frankliniella occidentalis* y *Scirtothrips dorsalis* presentes en arándanos en el norte de Sinaloa, resultados que concuerdan con los reportes de Nayarit<sup>3</sup> y Michoacán<sup>4</sup> donde se han encontrado estas especies. Para el bioensayo de patogenicidad (Fig. 2), los tres hongos causaron mortalidad en trips, obteniendo un 100% de mortalidad a los 6 días con una diferencia significativa con el control. La cepa de *I. fumosorosea* mostró mortalidad de 43% desde el día tres, aumentando el día cuatro a 66% y 93% a los 5 días post-inoculación. Mientras que *M. anisopliae* obtuvo valores del 60 y 83% a los cuatro y cinco días respectivamente. En cambio, *B. bassiana* presentó valores del 50% a los cuatro días y 73% a los cinco días post inoculación. Estos resultados demuestran el potencial de los hongos entomopatógenos para el control de trips en arándano<sup>3,4</sup>. La cepa de *I. fumosorosea* demostró las mortalidades más altas en menor tiempo post-inoculación.

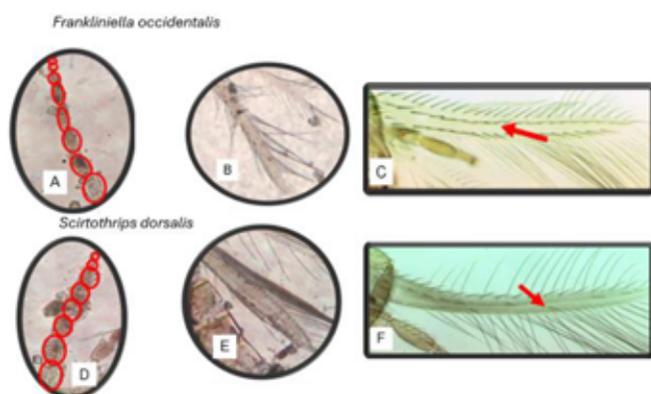


Figura 1. A) Antena de 8 segmentos B) alas amarillas C) vena del ala continua D) antenas oscuras de 8 segmentos E) alas oscuras F) vena del ala discontinua.

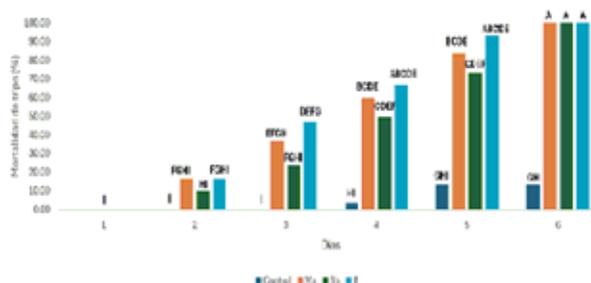


Figura 2. Porcentaje de mortalidad de trips al utilizar los hongos entomopatógenos de *B. bassiana*, *I. fumosorosea* y *M. anisopliae*.

**Conclusiones y perspectivas.** En el estudio se encontraron las especies de los géneros *Frankliniella* y *Scirtothrips* en el estado de Sinaloa. Al probar la efectividad de los hongos entomopatógenos contra los trips todos mostraron controlar el 100% de trips a los 6 días; sin embargo, *I. fumosorosea* tuvo el mejor tiempo letal de tres días post-inoculación. Los resultados demostraron la efectividad de estos hongos para controlar trips; no obstante, se planea evaluar la efectividad de las cepas a nivel de campo.

**Agradecimientos.** La investigación está financiada por el proyecto SIP 2024 clave: 20240466.

### Referencias.

- Kirişik, M., & Erler, F. 2023. The effectiveness of entomopathogenic fungi isolated from the western flower Thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) under field conditions. *Plant Protection*, 27(4): 479–484. 127(2): 80–87.
- Francis, J. R., & Manchegowda, H. K. 2023. Molecular phylogenetic identification of *Metarhizium* and *Beauveria* and their bio-efficacy against chilli thrips, *Scirtothrips dorsalis*. *International Journal of Tropical Insect Science*, 43(3), 909-918.
- Bayardo, C. G.; Landa, A. Z.; Virgen, M. O. E.; Lemus, S. B. A.; Robles, B. A.; Isiordia A., N.; Ayón, C. B. C., y Cambero C., O. J. 2023. Identificación y mejora biorracional de trips (Thysanoptera) en arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) en Nayarit, México. EN RENZA. Revista *biociencias*. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1490>
- Ortiz, J. E.; Infante, F.; Rodríguez, D. C. y Toledo, H. R. 2020. Discovery of *scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) in Blueberry Fields of Michoacan, Mexico. *Florida Entomologist*, 103(3). <https://doi.org/10.1653/024.103.0316>

## OBTENCIÓN DE METABOLITOS SECUNDARIOS DE INTERÉS FARMACÉUTICO PRODUCIDOS POR BACTERIAS AISLADAS DE AMBIENTES EXTREMOS

José Antonio Chávez Gómez, Diana Verónica Cortés Espinosa\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro Investigación en Biotecnología Aplicada, Unidad Tlaxcala

dcortes@ipn.mx

Palabras clave: Microorganismos extremófilos, Metabolitos secundarios, Aplicaciones farmacéuticas.

**Introducción.** Los ambientes extremos como las fuentes hidrotermales superficiales y los entornos salinos albergan microorganismos extremófilos, entre ellos bacterias con mecanismos complejos de adaptación a condiciones severas de temperatura y salinidad. Las bacterias halófilas y termófilas son una fuente valiosa de metabolitos secundarios (MS) bioactivos, con potenciales aplicaciones farmacéuticas (1). Para caracterizar estos MS, se utilizan algunas ciencias ómicas como la genómica, transcriptómica y metabolómica que, en conjunto, permiten dilucidar los genomas de los microorganismos y entender las rutas biosintéticas de los MS (2). En investigaciones con bacterias halófilas (3) y termófilas (4) como la cepa *Bacillus halotolerans* y bacterias de los géneros *Parageobacillus*, *Geobacillus*, *Anoxybacillus* y *Aeribacillus*, se ha hecho la extracción y caracterización de compuestos bioactivos como 3,5-di-tert-butil-4-hidroxibenzaldehído y Pirrolo[1,2-a]pirazina-1,4-diona con elevada actividad biológica, antimicrobiana, antiinflamatoria, antioxidante, citotóxica y anticancerígena (4).

**Planteamiento del problema.** El aumento de enfermedades crónicas y agudas humanas y la multirresistencia microbiana a los antibióticos, llevan a la necesidad de tener fuentes alternativas e innovadoras de fármacos, incluyendo aquellos de origen bacteriano, como los MS. No obstante, la mayoría de las investigaciones se han enfocado en bacterias de ambientes comunes, dejando un vacío en el estudio de los MS producidos por microorganismos de ambientes extremos.

**Justificación.** La investigación se enfocará en la obtención, identificación y evaluación de los MS producidos por cepas bacterianas halófilas y termófilas. Utilizando técnicas analíticas integrales para comprender los mecanismos biosintéticos y las funciones de los MS bacterianos hacia una contribución al desarrollo de nuevos fármacos y estrategias biomédicas que aborden los problemas actuales de salud pública.

**Objetivo general.** Obtener e identificar los metabolitos secundarios de interés farmacéutico producidos por microorganismos halófilos y termófilos.

**Objetivos particulares.** Seleccionar cepas bacterianas halófilas y termófilas, por medio de la determinación de las condiciones óptimas de cultivo para la producción de MS con actividad biológica. Evaluar la actividad biológica y caracterizar los MS mediante técnicas analíticas e instrumentales. Obtener los extractos de los MS en distintas fracciones y evaluar su actividad biológica. Realizar estudios de genómica, transcriptómica y metabolómica para un análisis completo. Evaluar la actividad antiproliferativa y citotóxica en dos líneas celulares.

**Estrategia metodológica.** La estrategia experimental tendrá como finalidad el aislamiento, selección y evaluación de bacterias halófilas y termófilas, así como la identificación y el análisis de sus MS. A través de seis etapas (Figura 1), se buscará: el muestreo de bacterias en entornos hidrotermales y salinos; optimización de cultivos, purificación

y caracterización de MS con actividad biomédica; identificación a nivel de género y especie de las cepas; estudio de los procesos metabólicos involucrados en la síntesis de MS y la determinación de su efecto en líneas celulares.

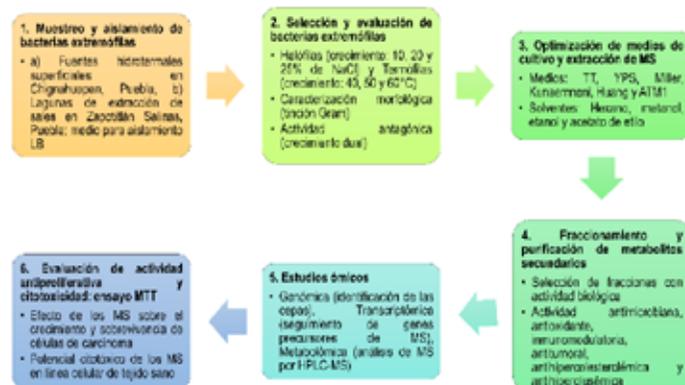


Figura 1. Estrategia metodológica/experimental de seis etapas.

**Resultados esperados.** Se espera la obtención de distintas cepas bacterianas halófilas y termófilas cultivables capaces de crecer en medios con porcentajes de NaCl de entre 20-25% y temperaturas  $\geq 50^{\circ}\text{C}$ . De acuerdo con la literatura, los medios de cultivo líquido seleccionados para este estudio propiciarán mayor producción de MS. Los solventes orgánicos con diferentes polaridades permitirán la extracción de compuestos de alta, moderada y baja polaridad, por ello se podrá extraer una gama significativa de MS. Los extractos obtenidos en este trabajo exhibirán un efecto antimicrobiano que puede o no estar directamente relacionado con el espectro de acción contra los patógenos. La actividad biológica de las fracciones, demostrará que los MS producidos por las bacterias extremófilas son una fuente nueva de fármacos y el ensayo de citotoxicidad permitirá descartar que los MS provenientes de las bacterias extremófilas causan efectos perjudiciales colaterales.

**Referencias.** (1) Rawat, M., Chauhan, M., & Pandey, A. (2024). Extremophiles and their expanding biotechnological applications. *Microbiol.* 206: 247- 264. (2) Maghembe, R., Damian, D., Makaranga, A., Nyandoro, S. S., Lyantagaye, S. L., Kusari, S., & Hatti-Kaul, R. (2020). Omics for Bioprospecting and Drug Discovery from Bacteria and Microalgae. *Antibiot.* 9: 229-237. (3) Soni, K., & Bagaria, A. (2024). GC-MS based identification of anti-microbial bioactive compounds, isolated from *Bacillus halotolerans* of marine sediment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 577: 1-10. (4) Valenzuela, B., Solís-Cornejo, F., Araya, R., & Zamorano, P. (2024). Isolation of Thermophilic Bacteria from Extreme Environments in Northern Chile. *Microorg.* 3: 473-482.

## ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ACTIVIDADES BIOLÓGICAS DE ARÁNDANOS SILVESTRES (*Vaccinium* sp.) RECOLECTADOS EN MICHOACÁN

José Osvaldo Bernal Gallardo, Silvia Luna Suarez\*, Hortencia Gabriela Mena Violante, Flor de Fátima Rosas Cárdenas, Cristian Jiménez Martínez, Marlon Rojas López.

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación de Biotecnología Aplicada, Tlaxcala

\*correo: silvials2004@yahoo.com.mx

Palabras clave: silvestre, CMB, CMI, antioxidante, HPTLC.

**Introducción.** El arándano es un fruto del género *Vaccinium*, es ampliamente valorado por su sabor y sus beneficios en la salud del consumidor, ya que cuenta con polifenoles que muestran potencial en la prevención de enfermedades crónico-degenerativas (1–3). Se tienen registradas cerca de 400 especies de *Vaccinium*, sin embargo, solo unas pocas son cultivadas y estudiadas, tal como *Vaccinium stenophyllum* Steud. y *Vaccinium leucanthum* Schltl. reportadas en Michoacán. colocados entre paréntesis.

El objetivo de esta investigación es evaluar la composición química y actividades biológicas de arándanos silvestres (*Vaccinium stenophyllum* Steud. y *Vaccinium leucanthum* Schltl.) recolectados en Michoacán. os títulos de las secciones se colocarán al inicio del párrafo en negritas.

**Metodología.** Se recolectaron frutos maduros y hojas de arándanos silvestres y de la variedad Biloxi. Se determinó el índice de madurez de los frutos y se realizará su análisis proximal. Se prepararon extractos de hojas y frutos en metanol. Se cuantificaron fenoles, flavonoides y antocianinas por espectrofotometría. También se determinó la actividad antioxidante por ABTS●+ y DPPH●, complementado con HPTLC-DPPH●. Adicionalmente, se determinó la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) y la Concentración Mínima Bactericida (CMB) contra bacterias enteropatógenas, así como la Bioautografía. Se realizó la de Inhibición de enzima xantina oxidasa y de la enzima convertidora de angiotensina I. Los resultados se procesaron con ANOVA y comparación de medias Tukey.

**Resultados y discusión.** El mayor contenido de fenoles totales fue obtenido en el extracto de hojas de *V. stenophyllum*, siendo 14.9-73.24%. mayor que el resto de los extractos. Estudios previos han reportado un contenido de fenoles totales de  $9.44 \pm 0.02$  mg EAG/g PS en *V. ashei* (4), el cual fue 83.91% inferior que el contenido de las hojas de *V. stenophyllum*. Por otro lado, el mayor contenido de flavonoides totales fue encontrado en el extracto de hojas de *V. stenophyllum*, siendo 21.54-90.33% mayor que el resto de los extractos. Por otra parte, en estudios previos el contenido de flavonoides totales en frutos de *V. stenophyllum* es  $5.66 \pm 0.24$  mg EQ/g de PS (1) y en la variedad 'Bluegold' de  $0.840 \pm 0.001$  mg EQ/g de PS (5), siendo ambos menores a lo reportado en este estudio. La mayor actividad antioxidante por el método ABTS●+, fue obtenida en el extracto de hojas de *V. stenophyllum*, siendo 6.86-77.75% mayor que en el resto de los extractos. De igual manera, la mayor actividad antioxidante por el método DPPH●, fue obtenida en el extracto de hojas de *V. stenophyllum*, siendo 13.98-89.54% mayor que el resto de los extractos. Los compuestos antioxidantes identificados por medio de HPTLC-DPPH● en los extractos de hojas y frutos fueron el hiperósido y el ácido clorogénico. Además, se encontró la peonidina-3-glucósido y la petunidina-3-glucósido como compuestos antioxidantes para los

extractos de frutos de *V. stenophyllum* y *V. leucanthum*. Por otra parte, en los extractos de fruto de Biloxi se encontró como compuestos antioxidantes a delfinidina-3-glucósido y cianidina-3-glucósido. El extracto de hojas de *V. stenophyllum* mostró la mejor CMI (2.96 mg PS/mL) y CMB (8.89 mg PS/mL), siendo la misma CMI y CMB para las bacterias en estudio (Cuadro 1). Por medio de la Bioautografía se encontró al ácido clorogénico como uno de los principales compuestos antimicrobianos.

Cuadro 1. Actividad antimicrobiana de los extractos de frutos y hojas en estudio contra *E. coli* y *S. choleraesuis*

Extracto	<i>E. coli</i> ATCC 12792		<i>S. choleraesuis</i> ATCC 10708	
	CMI	CMB	CMI	CMB
Fruto Biloxi	8.89	26.60	8.89	26.60
Fruto <i>V. stenophyllum</i>	8.89	26.60	8.89	26.60
Fruto <i>V. leucanthum</i>	8.89	26.60	8.89	26.60
Hoja Biloxi	8.89	26.60	8.89	8.89
Hoja <i>V. stenophyllum</i>	2.96	8.89	2.96	2.96
Hoja <i>V. leucanthum</i>	8.89	26.60	8.89	8.89

Valores promedio reportados en mg de PS/mL

La mejor inhibición de la xantina oxidasa en frutos se presentó con 'Biloxi', siendo 5.73-10.69% superior que *V. leucanthum* y *V. stenophyllum* respectivamente, con 165 µg de PS/mL.

**Conclusiones y perspectivas.** Se tiene mayores concentraciones de fenoles y flavonoides en hojas, lo cual se ve reflejado en la actividad antioxidante y actividad antimicrobiana. Las hojas tanto de las especies silvestres como de la variedad Biloxi, pueden ser aprovechadas para el manejo de los enteropatógenos en estudio y con esto darles un aprovechamiento a estos recursos de forma sustentable.

**Agradecimientos.** Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por el apoyo económico a través de la beca nacional.

### Referencias.

- (1) Bernal-Gallardo, J. O.; Molina-Torres, J.; Angoa-Pérez, V.; Cárdenas-Valdovinos, J. G.; García-Ruiz, I.; Ceja-Díaz, J. A.; Mena-Violante, H. G. 2022. Phenolic Compound Content and the Antioxidant and Antimicrobial Activity of Wild Blueberries (*Vaccinium Stenophyllum* Steud.) Fruits Extracts during Ripening. *Horticulturae*. 8 (15), 1–17.
- (2) Guofang, X.; Xiaoyan, X.; Xiaoli, Z.; Yongling, L.; Zhibing, Z. 2019. Changes in Phenolic Profiles and Antioxidant Activity in Rabbiteye Blueberries during Ripening. *Int. J. Food Prop.* 22 (1).

## DISEÑO RACIONAL DE INHIBIDORES DE LA ENOLASA DE *ENTAMOEBIA HISTOLYTICA*

José Ricardo Monterrosas Santamaría, César Augusto Sandino Reyes López\*, Aracely Evangelina Chávez Piña\*  
Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía

achavezp@ipn.mx

Palabras clave: *Enolasa*, *Entamoeba*, *Inhibidores*, *docking*

**Introducción.** El género *Entamoeba* es un grupo de organismos unicelulares que infectan a algunas especies de primates y humanos, son responsables de enfermedades parasitarias en estos organismos (1). La *E. histolytica* es un parásito que contagia mediante la vía fecal-oral, la transmisión se da cuando se consume agua o comida contaminada con quistes de este organismo, una vez que estos son ingeridos viajan al lumen intestinal y se convierten en trofozoitos que se multiplican rápidamente, causando la infección (2). El diagnóstico se da mediante la auscultación y cultivo de heces y el tratamiento de primera línea consiste en metronidazol u otros amebicidas tisulares, sin embargo, se sabe que *E. histolytica* es capaz de generar resistencia al metronidazol, que aunado a los efectos secundarios que se presentan, es imperante del desarrollo de nuevos tratamientos que permitan combatir la amebiasis (3). Es por ello que se ha propuesto la búsqueda de nuevos blancos terapéuticos para los fármacos actuales y la síntesis de moléculas nuevas que permitan potencializar de forma sinérgica el efecto de los tratamientos actuales (4).

**Planteamiento del problema.** La amebiasis tuvo una prevalencia de 118,357 casos en 2022, lo cual lo convierte en un problema de salud pública. El tratamiento consiste en amebicidas como metronidazol, sin embargo, se conoce que puede generar distintos efectos secundarios que pueden ser desde leves hasta poner en riesgo la vida del paciente.

**Justificación.** Debido a la prevalencia de la amebiasis como un problema de salud pública, es necesario realizar la búsqueda de tratamientos nuevos basados en la búsqueda de nuevos blancos moleculares, y la síntesis de moléculas nuevas que puedan tener un efecto sinérgico con los tratamientos actuales. Por lo tanto, este trabajo busca abordar un problema que aqueja la salud de los mexicanos y por tanto se busca contribuir a mejorar la estrategia de tratamiento con una minimización de los efectos secundarios.

**Objetivo general.** Evaluar la actividad inhibitoria específica de la enolasa de amiba por compuestos diseñados de novo *in silico* y determinar *in vitro* un posible efecto sinérgico con los fármacos de primera línea para el tratamiento de la amebiasis.

### Objetivos particulares.

Evaluar mediante estudios de dinámica y docking moleculares la viabilidad y estabilidad molecular de los posibles complejos que se formen entre los compuestos diseñados y la enolasa de amiba. Obtener por síntesis orgánica los compuestos que puedan tener mayor potencial de inhibición sobre la enolasa de amiba de acuerdo con los ensayos de acoplamiento molecular. Evaluar en cultivos de trofozoitos la posible interacción farmacológica entre los mejores inhibidores sintetizados y medicamentos utilizados en el tratamiento convencional de la amebiasis.

### Estrategia metodológica.

Se plantea tomar como base la molécula tert-butil N-(2-[[1-(propan-2-il) piperidin-4-il] carbamoil] ciclohexano) carbamato como base para realizar el diseño racional de moléculas nuevas, para ello se propone

la evaluación de los nuevos compuestos mediante docking (utilizando AutoDock Vina) y dinámica molecular (utilizando la suite GROMACS), Para determinar la estabilidad de los complejos formados. Los compuestos seleccionados serán analizados para predecir el cumplimiento de las reglas de Lipinsky, evaluar las propiedades ADME, la farmacodinamia, toxicidad, etc., a través de plataformas como PASSonline, Swiss Target Prediction, Meta-Print 2D y Meta-Print 2D-React, entre otras. Posteriormente los compuestos serán evaluados en búsqueda de su existencia de forma comercial o se planeará una ruta de síntesis que nos permita obtener una cantidad suficiente para realizar ensayos de inhibición de enolasa de *E. histolytica*, una vez que los compuestos demuestren actividad parcial o completa de inhibición de la enolasa, serán probados en cultivos celulares de trofozoitos para evaluar la capacidad de inhibir el crecimiento de estos. Finalmente se propone construir curvas concentración-respuesta de los compuestos seleccionados solos, con metronidazol y en combinación, para así determinar la concentración inhibitoria 50 (CI50) y realizar un análisis isoblográfico para evaluar si las combinaciones son capaces de mostrar algún efecto sinérgico o aditivo.

### Resultados esperados.

Se plantea que al cabo y transcurso del tiempo del doctorado se obtengan compuestos capaces de inhibir la actividad de la enolasa de la ameba *Entamoeba histolytica*, posterior a ello se espera que estos compuestos sean capaces de inhibir la capacidad de reproducción de trofozoitos en un cultivo celular en combinación con el tratamiento de primera línea que consiste en metronidazol, con esta combinación se espera que se logre un efecto aditivo o sinérgico en el tratamiento de amebiasis que permita reducir las dosis de metronidazol necesarias para la eliminación del parásito.

### Referencias.

1. Chacín-Bonilla, Leonor. (2013). Amebiasis: aspectos clínicos, terapéuticos y de diagnóstico de la infección. *Revista médica de Chile*, 141(5), 609-615. <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872013000500009>
2. Bhattacharya, S. (2023). Episomal and chromosomal DNA replication and recombination in *Entamoeba histolytica*. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2023.1212082>
3. Martínez-Castillo, M., Pacheco-Yépez, J., Flores-Huerta, N., Guzmán-Téllez, P., Jarillo-Luna, R. A., Cárdenas-Jaramillo, L. M., Campos-Rodríguez, R., & Shibayama, M. (2018). Flavonoids as a Natural Treatment Against *Entamoeba histolytica*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00209>
4. Nagaraja, S., & Anki, S. (2019a). Target identification and intervention strategies against amebiasis. *Drug Resistance Updates*, 44, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.drug.2019.04.003>

## IDENTIFICACIÓN DE MODULADORES GENÉTICOS QUE REGULAN LA DINÁMICA DE INTERCAMBIO DE HIERRO Y NITRÓGENO DE MAÍZ CRIOLLO CULTIVADO BAJO EL SISTEMA MILPA EN EL NORTE DE SINALOA

José Ricardo Rendón de Anda, Jesús Mireya Higuera-Rubio, Grethel Priscila Gaytán-Pinzón, Carlos Ligne Calderón-Vázquez\*  
Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa

ccalderon@ipn.mx

Palabras clave: maíz, frijol, milpa, transcriptómica, interacción planta-planta

**Introducción.** El maíz es uno de los cultivos más producidos a nivel mundial, se cultivan alrededor de 200 millones de Ha anualmente. El cultivo de maíz asociado a frijol es conocido como "milpa" y ha sido utilizado en Mesoamérica durante miles de años (1). La milpa consiste en un policultivo de maíz, frijol y calabaza, que provee de dietas balanceadas a las comunidades rurales; tiene un gran potencial para productores, ya que permite obtener más de un tipo de cultivo en la misma área de terreno, así como otro tipo de nutrientes como proteínas y antioxidantes, en mayor cantidad y calidad (2). En el sistema milpa el maíz tiene un papel importante como solubilizador de Fe; el maíz se caracteriza por solubilizar el Fe utilizando la estrategia II (quelación), sin embargo, se han encontrado genes activos de la estrategia I (reducción) en su genoma; además, los exudados de maíz inducen la síntesis de flavonoides y la formación de nódulos en raíces de leguminosas, por lo tanto, induce la fijación de N. El papel del frijol en el sistema milpa es el de fijador de N, esto se debe a la formación de nódulos en sus raíces por la infección de rizobacterias (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter* y *Nitrococcus*) que incorporan el N atmosférico a la rizosfera. Existe una co-dependencia entre las tasas de fijación de N y las de asimilación de Fe, esto debido a que el Fe participa en la formación y desarrollo de nódulos en las raíces de leguminosas, además de ser un cofactor de enzimas en el proceso de fijación de N. De la misma manera, el aumento de las tasas de fijación de N se traduce en un aumento en la absorción de nutrientes y rendimiento del maíz (3).

**Planteamiento del problema.** La llegada de la revolución verde a Latinoamérica entre 1960 y 1970, trajo consigo problemas a mediano y largo plazo, especialmente en las áreas económicas, sociales y ambientales, como la práctica del monocultivo, la dependencia de insumos y semillas mejoradas, la mecanización de la agricultura y la pérdida de conocimientos tradicionales. El uso del monocultivo trae consigo problemas como el uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas químicos, menor fertilidad del suelo, pérdida de biodiversidad y menores rendimientos y calidad de cultivos.

**Justificación.** Los policultivos son utilizados para aumentar la productividad y sustentabilidad de agroecosistemas. Por lo que surge la milpa como una alternativa, ya que esta consiste en un reservorio dinámico de recursos biológicos y nutricionales, donde el maíz aumenta su absorción de nutrientes y el frijol aumenta sus tasas de fijación de N, al mismo tiempo que ambos aumentan sus rendimientos. También nos permite mejorar el aprovechamiento de los recursos minerales y biológicos del suelo, así como una mayor superficie de terreno. De la misma manera, el uso del sistema milpa es importante para garantizar la seguridad alimentaria en las zonas rurales del norte de México.

**Objetivo general.** Determinar los moduladores genéticos que regulan la dinámica de intercambio de hierro y nitrógeno en sistema milpa de maíz-frijol en el norte de Sinaloa.

### Objetivos particulares.

- I. Realizar el escrutinio y selección de semillas de maíz nativo que presenten una mayor capacidad de asimilación de hierro en zonas rurales de la sierra norte de Sinaloa.
- II. Identificar los genes expresados diferencialmente durante el sistema milpa maíz-frijol y el monocultivo de maíz en condiciones de baja y alta disponibilidad de hierro.
- III. Determinar exudados de raíces relacionados con la asimilación de nutrientes en el sistema milpa maíz-frijol y monocultivo de maíz en dos etapas de desarrollo vegetativo.

### Estrategia metodológica.

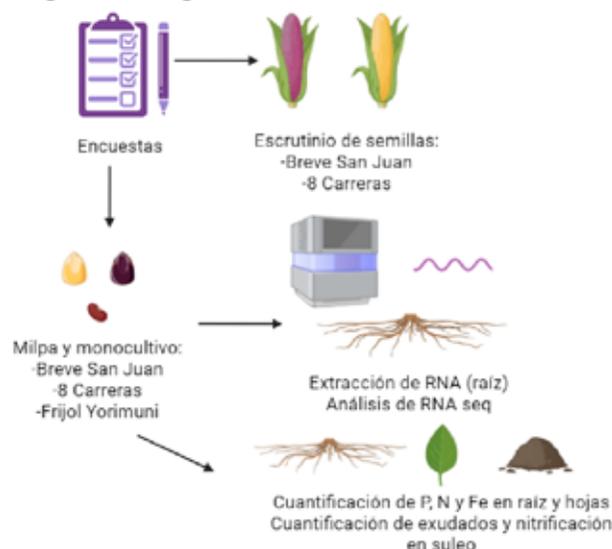


Figura 1. Estrategia metodológica a seguir en el proyecto.

**Resultados esperados.** Se espera demostrar que la exudación de metabolitos originados bajo el sistema milpa de maíz-frijol se controla a nivel genético en raíz, pero es inducido por las condiciones metabólicas en la rizósfera, donde el contenido de hierro y fitosideróforos son determinantes para controlar las dinámicas de intercambio de nitrógeno.

### Referencias.

- (1) Lopez-Ridaura, S. et al. (2021). *Scientific Reports*, 11(1), 1–10.
- (2) Méndez-Flores, O. G. et al. (2023). *Food Reviews International*, 39(3), 1359–1376.
- (3) Liu, Y. et al. (2023). *Plants*, 12(10), 1958

## EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TIRAPAZAMINA EN LA RESOLUCIÓN DEL ABSCESO HEPÁTICO AMEBIANO

Josue Fernando Velazquez Romero, \*María Esther Ramirez Moreno, Judith Pacheco Yépez, Laurence Annie Marchat Marchau, Gilberto Mandujano Lázaro.

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Escuela Superior de Medicina.

estherramirezmoreno@yahoo.com.

Palabras clave: Tirapazamina, Quinoxalina, Amebiasis, Absceso Hepático, Microbioma,

**Introducción.** *Entamoeba histolytica* es causante de la enfermedad infecciosa conocida como amebiasis, es de amplia distribución mundial y afecta principalmente a países en vías de desarrollo, para el caso particular de México en el año 2023 el SINAVE registro más de 117,000 casos de amebiasis. Los fármacos que actualmente se emplean para su tratamiento causan diversos efectos adversos, que ocasionan el abandono del tratamiento, por parte de los pacientes, haciendo que esta enfermedad sea persistente y recurrente. Las infecciones por este parásito conducen a distintas manifestaciones clínicas, que incluyen diarrea, colitis, disentería y en casos más severos la formación del absceso hepático amebiano (AHA) siendo este último el responsable de 50.000 muertes en el año 2010<sup>1</sup>. Debido a los altos índices de prevalencia y mortalidad de la amebiasis, así como los efectos adversos de los tratamientos actuales, es primordial el desarrollo de terapias alternativas.

Tirapazamina (TPZ) es un profármaco, perteneciente a la clasificación de las quinoxalinas, inicialmente su uso fue en el área de la oncología, sin embargo, ha demostrado tener un efecto antibacteriano<sup>2</sup> especialmente en bacterias con metabolismo anaerobio como el que posee *E. histolytica*. Recientemente Velazquez. et al. (2024) demostraron que la TPZ posee un efecto antiamebiano en cultivos de trofozoitos de *E. histolytica* en condiciones de aerobiosis y anaerobiosis determinando una IC<sub>50</sub> de 2.19  $\mu$ M y de 0.95  $\mu$ M, respectivamente.

Los trofozoitos de *E. histolytica* tratados con TPZ mostraron un aumento de especies reactivas de oxígeno "ROS", peroxidación de lípidos, y fragmentación del DNA en condiciones de aerobiosis y anaerobiosis.

### Planteamiento del problema.

La amebiasis y los AHA que se producen siguen siendo un importante problema de salud pública en las áreas endémicas, por lo cual se deben buscar nuevos fármacos o probar algunos existentes que nos permitan tratar este problema de manera más eficiente.

### Justificación.

Debido a los altos índices de prevalencia y mortalidad de la amebiasis, así como los efectos adversos de los tratamientos actuales, es primordial el desarrollo de terapias alternativas, se ha demostrado el potencial antiamebiano de TPZ *in vitro*, sin embargo, se desconoce su potencial farmacológico *in vivo*, por lo que es necesario probar su eficacia en un modelo de amebiasis experimental.

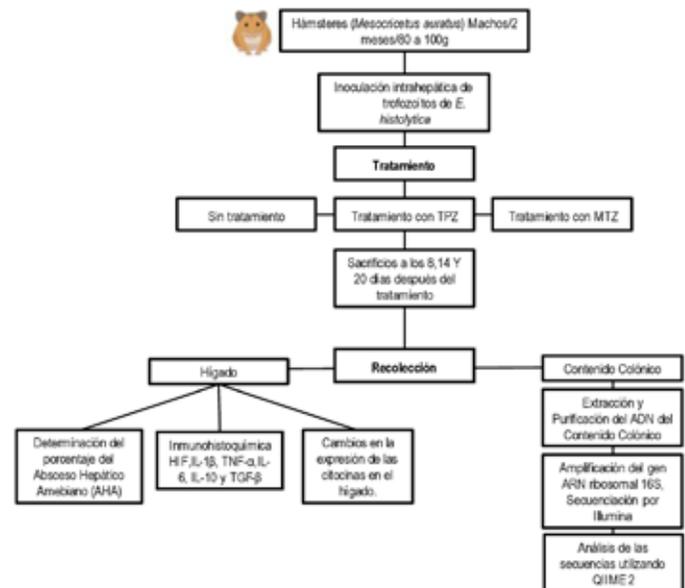
**Objetivo general.** Evaluar el efecto antiamebiano de TPZ en la progresión del absceso hepático en hámster.

### Objetivos particulares.

- Evaluar el efecto del tratamiento con TPZ en la evolución del AHA experimental.
- Evaluar los cambios histopatológicos que se presentan después del tratamiento con TPZ en el desarrollo del AHA.

- Analizar la expresión del Factor inducible por hipoxia (HIF), citocinas pro-inflamatorias, IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-8, TNF- $\alpha$  y anti-inflamatorias como la TGF- $\beta$  e IL-10 después del tratamiento con TPZ en el desarrollo del AHA.
- Evaluar si el tratamiento con TPZ afecta la microbiota del hámster.

### Estrategia metodológica



### Resultados esperados.

Se espera que la TPZ muestre un efecto antiamebiano *in vivo*, reduciendo significativamente la carga del parásito y limitando el daño tisular en el absceso hepático amebiano en hámsteres, lo que favorecería una resolución más rápida de la infección. Asimismo, se anticipa que la TPZ modifique los niveles de los mediadores de la inflamación, lo que podría correlacionarse con una menor progresión de la infección. También se espera que el tratamiento impacte positivamente en la microbiota de los hámsteres, contribuyendo a una recuperación integral.

### Referencias.

- Usuda, D., Tsuge, S., Sakurai, R., Kawai, K., Matsubara, S., Tanaka, R., Suzuki, M., Takano, H., Shimozawa, S., Hotchi, Y., Tokunaga, S., Osugi, I., Katou, R., Ito, S., Mishima, K., Kondo, A., Mizuno, K., Takami, H., Komatsu, T., Oba, J., ... Sugita, M. (2022). Amebic liver abscess by *Entamoeba histolytica*. *World journal of clinical cases*, 10(36), 13157–13166. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v10.i36.13157>
- Shah, Z., Mahbuba, R., & Turcotte, B. (2013). The anticancer drug tirapazamine has antimicrobial activity against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Clostridium difficile*. *FEMS microbiology letters*, 347(1), 61–69. <https://doi.org/10.1111/1574-6968.12223>

## CARACTERIZACIÓN FITOQUÍMICA Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIHIPERGLUCEMIANTE Y TOXICOLÓGICA DEL EXTRACTO DE *Agave durangensis* Gentry

Juan David Bermudes Contreras, René Torres Ricario, Jorge Cornejo Garrido\*.

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía

\*jcornejog@ipn.mx

Palabras clave: *Agave durangensis*, UPLC-MS, antihiperglucemiante, toxicidad.

**Introducción.** La diabetes es una enfermedad crónica degenerativa caracterizada por una elevación de los niveles de glucosa. La prevalencia en México es del 18.3% y más de la mitad de los pacientes tiene un mal control de la enfermedad, ante lo cual muchos han optado por el uso de plantas medicinales para complementar su tratamiento. Dentro de las plantas que parecen tener propiedades medicinales para el tratamiento de esta patología encontramos al género *Agave* y dentro de este género la especie *Agave durangensis* Gentry ha demostrado que en extractos metanólicos de las hojas se encuentran metabolitos de interés farmacológico como flavonoides lo que la convierte en una fuente interesante de moléculas para el tratamiento de esta enfermedad.<sup>1</sup>

**Metodología.** Se realizó un extracto de *Agave durangensis* Gentry (EAd) utilizando hojas de esta planta que fueron secadas, molidas y puestas a macerar en acetato de etilo para posteriormente ser concentrado y secado para su uso. Se analizó la composición del extracto a través de UPLC-MS y se cuantificó la cantidad de triterpenos. Se realizó un estudio *in silico* para evaluar el perfil ADMET y proponer un probable blanco de los metabolitos presentes en el extracto a través de acoplamiento molecular. Se evaluó *in vitro* el blanco predicho utilizando un kit de inhibición de DPP4, además se evaluó *in vivo* el efecto antihiperglucemiante del EAd a través de un modelo animal de hiperglucemia inducida con estreptozotocina a quien se le administró 300 mg/kg del extracto, se obtuvieron muestras de sangre para análisis de parámetros bioquímicos como glucosa, colesterol y triglicéridos así como hemoglobina glicada, además de órganos para su estudio histopatológico. Finalmente, se evaluó *in vitro* la mutagenicidad a través de la prueba de AMES, y la toxicidad en estudios *in vivo* a través de toxicidad oral aguda.

**Resultados y discusión.** Se determinó que el metabolito mayoritario es un ácido graso tipo omega 3, seguido por triterpenos, flavonoides y saponinas. Se encontró que el extracto posee 294±0.84 mg/g equivalentes de ácido ursólico por cada gramo de extracto. Se propuso que unos de los probables blancos del extracto sobre el control de glucemia son las alfa glucosidasas y DPP4, encontrando en los ensayos *in vitro* un  $CI_{50}$  de 588 µg/mL del EAd. Además de ello se encontró que el extracto es capaz de disminuir de manera significativa los niveles de glucosa (Figura 1A), hemoglobina glicada (Figura 1B), colesterol VLDL (Figura 1C) y triglicéridos (Figura 1D) con respecto a los medicamentos de referencia. Por otra parte, la administración conjunta del extracto con metformina permite una disminución mayor de glucosa y hemoglobina glicada que únicamente con metformina. Finalmente se encontró que el EAd no posee actividad mutagénica mediante la prueba de AMES, además de tener una  $DL_{50}$  superior a 2000 mg/kg de acuerdo a los resultados de la toxicidad oral aguda. Se encontraron compuestos diferentes a los reportados previamente, esto puede deberse al disolvente utilizado para la extracción ya que al ser

de diferente polaridad permite la extracción mayoritaria de cierto tipo de metabolitos así como al método de análisis ya que en los estudios previos utilizan HPLC acoplado a diodos y algunos estándares que se enfocaron en compuestos flavonoides<sup>1</sup>. Por otra parte la disminución de hemoglobina glicada, glucosa y triglicéridos ha sido reportada para un extracto metanólico de *A.americana* sin embargo la disminución con EAd es superior a una dosis menor.<sup>2</sup>

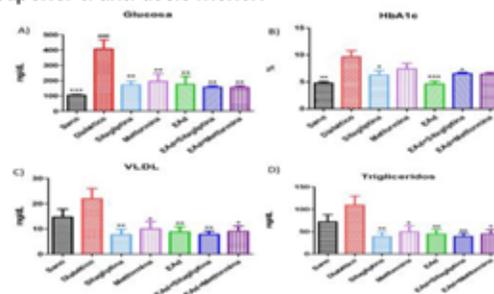


Figura 1. Parámetros bioquímicos de los diferentes grupos experimentales. A) Glucosa B) Hemoglobina glicada. C) Colesterol VLDL. D) Triglicéridos

**Conclusiones y perspectivas.** Se determinó la composición del EAd siendo los ácidos grasos, terpenos, flavonoides y saponinas los metabolitos mayoritarios. Se determinó que el EAd posee una actividad antihiperglucemiante e hipolipemiante siendo la inhibición de DPP4 uno de los probables mecanismos de acción. La administración conjunta de EAd con medicamentos de primera línea para el tratamiento de diabetes parece ser segura y mantener su efecto en la disminución de glucosa. El EAd demostró no ser genotóxico y su administración oral es segura al poseer una  $DL_{50}$  superior a 2000 mg/kg. Es necesario continuar investigando sobre los mecanismos de acción de este extracto sobre la glucemia así como el proponer formas farmacéuticas para continuar con su estudio en fases clínicas.

**Agradecimientos.** La presente investigación es financiada por los proyectos SIP-20220540 y SIP-20240599 del IPN

### Referencias.

- Almaraz-Abarca, N., Delgado-Alvarado, E., Hernandez-Vargas V., Ortega-Chavez, M., Orea-Lara, G., Cifuentes-Diaz de Leon, A., Avila-Reyes, J & Muniz-Mart, R. (2009). Profiling of Phenolic Compounds of Somatic and Reproductive Tissues of *Agave Durangensis* Gentry (Agavaceae). *American Journal of Applied Sciences*, 6(6).
- Aleem, A., Shahnaz, S., Javaid, S., Ashraf, W., Rasool, M. F., Ahmad, T., F Alotaibi, A., Albeshri, K. S., Alqahtani, F., & Imran, I. (2022). Chronically administered *Agave americana* var. *marginata* extract ameliorates diabetes mellitus, associated behavioral comorbidities and biochemical parameters in alloxan-induced diabetic rats. *Saudi pharmaceutical journal : SPJ : the official publication of the Saudi Pharmaceutical Society*, 30(10).

## EVALUACIÓN DEL EFECTO ANTIHIPERGLUCEMIANTE DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE *Fouquieria* sp. MEDIANTE ENSAYOS *IN VITRO* E *IN VIVO*

Karen Montserrat Román Casiano, Jorge Cornejo Garrido, \*René Torres Ricario

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango

\*rtorres@ipn.mx

Palabras clave: Antihyperglucemiante, Diabetes, DPP4, *Fouquieria*, UPLC-MS, Toxicidad

**Introducción.** La diabetes es un grupo de trastornos metabólicos crónicos caracterizados por hiperglucemia, asociada a múltiples complicaciones las cuales empeoran el pronóstico de la enfermedad. En México, la diabetes ocupó el segundo lugar en defunciones en el 2023, de modo que el uso de plantas medicinales como coadyuvante para su tratamiento es una práctica común entre la población. *Fouquieria* sp. es una especie de arbusto ampliamente distribuida en México. En el estado de Durango, se desarrolla en regiones áridas del centro-norte y noreste del estado, y su composición fenólica, propiedades biológicas y efectos toxicológicos ha sido poco estudiada (1). El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la inhibición de la enzima DPP4 *in vitro*, así como el efecto toxicológico y antihyperglucemiante *in vivo* del extracto etanólico foliar de *Fouquieria* sp.

**Metodología.** La preparación de extracto etanólico de *Fouquieria* sp. se realizó utilizando las hojas secas previamente molidas mezcladas con etanol al 80%. La composición del extracto fue analizada mediante UPLC-MS. Además, el extracto fue fraccionado mediante cromatografía de columna para su posterior análisis en ensayos *in vitro*. La capacidad del extracto para inhibir la DPP4, se realizó mediante un kit de detección de inhibidores. El estudio de toxicidad oral aguda del extracto se llevó a cabo de acuerdo a las directrices de la OECD por el método 423 y la mutagenicidad mediante la prueba de AMES. Para el efecto antihyperglucemiante *in vivo* se utilizaron ratas macho Wistar, inducidas a hiperglucemia mediante una inyección intraperitoneal de estreptozotocina. Los distintos tratamientos fueron administrados una vez al día mediante cánula intragástrica durante un periodo de 30 días.

**Resultados y discusión.** El análisis en búsqueda de compuestos fenólicos mediante UPLC-MS exhibió la presencia de hiperósido, kaempferol 3-O-sambubiosido, ácido quínico, morina, ácido elálgico, quercitrina, kaempferol, luteolina 7-O-glucósido, apigenina, 1,2,6-trigaloioglucosa, kaempferol 3-O-rutinósido. De la separación del extracto se obtuvieron un total de 37 fracciones. La capacidad del extracto total de *Fouquieria* sp. para inhibir la enzima DPP4 mostró una IC<sub>50</sub> a una concentración de 473.14 µg/ml, valores que se encontraron por debajo de lo reportado en otras plantas con potencial inhibidor. El estudio de toxicidad oral aguda mostró que no se presentaron signos o síntomas de toxicidad, ni casos de muerte en los animales durante el periodo experimental obteniendo una DL<sub>50</sub> >2000 mg/kg, que podría suponer un peligro para la salud si se ingieren dosis superiores a ésta. El estudio de mutagenicidad reveló que el extracto no incrementó el número de reversiones en ninguna de las cepas utilizadas y tampoco se observaron cambios relacionados con las dosis probadas. El tratamiento con el extracto de *Fouquieria* sp. demostró reducir los niveles de glucosa sérica en ayunas y HbA<sub>1c</sub> en ratas diabéticas, mientras que la insulina sérica

no mostró diferencia. Así mismo, en el perfil de lípidos se observó una disminución del colesterol, las VLDL y triglicéridos respecto al grupo diabético control sin tratamiento (Cuadro 1). Efectos similares han sido reportados en estudios con ratas diabéticas (2). Además, el análisis histológico de los tejidos de interés en los grupos experimentales no mostró alteraciones en su morfología y/o arquitectura.

Cuadro 1. Perfil bioquímico en ratas diabéticas después de 30 días de tratamiento con el extracto etanólico foliar de *Fouquieria* sp.

Parámetros (mg/dl)	Diabético	Diabético+ Extracto	Diabético+ Extracto+ Sitagliptina	Diabético+ Extracto+ Metformina
Glucosa	407±60.2	206.7±13.3*	183.3±60.6*	94.67±27.2*
HbA <sub>1c</sub> (%)	9.6±1.1	7.9±0.3	7.3±1.2	4.4±0.7*
Insulina	0.10±0.01	0.04±0.01	0.05±0.01	0.06±0.03
Colesterol	79.3±7.6	57.0±8.5	72.6±12.6	63.3±3.3
VLDL	22.0±4.0	6.6±1.3*	10.3±0.8	15.6±7.2
Triglicéridos	89.6±2.6	39.6±3.3*	50.2±3.4*	47.6±7.8*

\*Diferencia estadísticamente significativa respecto al grupo diabético

**Conclusiones y perspectivas.** La composición del extracto mostró la presencia de 11 distintos compuestos fenólicos. Además, se obtuvieron un total de 37 fracciones. El valor de la DL<sub>50</sub> del extracto etanólico foliar de *Fouquieria* sp. fue >2000 mg/kg en ratas Wistar mediante el método 423, y es clasificado como no tóxico al encontrarse en la categoría 5 del del sistema globalmente armonizado (GHS). Asimismo, demostró no presentar mutagenicidad en las cepas utilizadas durante la prueba de AMES. Finalmente, el extracto presentó actividad antihyperglucémica al reducir los niveles de glucosa en sangre de las ratas diabéticas inducidas con estreptozotocina. El tratamiento combinado del extracto y metformina ejerció mayor efecto sobre la disminución de la glucosa y la HbA<sub>1c</sub>.

**Agradecimientos.** A la Secretaría de Investigación y Posgrado por el financiamiento otorgado a los proyectos de investigación con clave SIP 20240599 y 20240727 del IPN.

### Referencias.

- Monreal-García HM, Almaraz-Abarca N, Ávila-Reyes JA, Torres-Ricario R, González-Elizondo MS, Herrera-Arrieta Y, Gutiérrez-Velázquez MV. 2019. Phytochemical variation among populations of *Fouquieria splendens* Engelm. (Fouquieriaceae). Bot Sci. 97(3), 398-412.
- Strugała P, Dzydzan O, Brodyak I, Kucharska AZ, Kuropka P, Liuta M, Kaleta-Kuratewicz K, Przewodowska A, Michalowska D, Gabrielska J, Sybima N. 2019. Antidiabetic and Antioxidative Potential of the Blue Congo Variety of Purple Potato Extract in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. Molecules. 28;24(17):3126.

## EFFECTO DEL USO DE HOJAS DE AGAVE Y MEZCLA DE CONCENTRADOS DE PROTEÍNA EN ALIMENTOS FORMULADOS PARA JUVENILES DE CAMARÓN BLANCO *Penaeus vannamei*

Laura Belén Soto Peña, Hervey Rodríguez González\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional

hrodriguezg@ipn.mx.

Palabras clave: *Ensilado de hoja de agave, Concentrado proteico, Antioxidante, Estrés oxidativo*

**Introducción.** La harina de pescado ha sido un componente clave en las dietas formuladas para camarones debido a su alto contenido de proteínas y perfil nutricional equilibrado. No obstante, la creciente demanda, los costos elevados y la sostenibilidad han impulsado la búsqueda de otras alternativas (1). Entre las opciones se encuentran las proteínas vegetales, como el ensilado de hojas de agave y concentrados proteicos. Estos últimos presentan múltiples beneficios, no solo son una fuente sostenible y económica de proteínas, sino que también contienen antioxidantes, los cuales son esenciales para neutralizar radicales libres y reducir el estrés oxidativo de organismos acuáticos (2).

**Planteamiento del problema.** Dado el impacto ambiental generado por la falta de aprovechamiento de subproductos agrícolas como las hojas de agave y los granos de descarte, considerando la necesidad de encontrar fuentes de proteína alternativas en la acuicultura, es necesario investigar si estos subproductos pueden ser utilizados como ingredientes en dietas para camarón blanco *P. vannamei* sin afectar negativamente su crecimiento y rendimiento productivo.

**Justificación.** El aprovechamiento de subproducto hojas de agave para la producción de mezcal en el estado de Puebla, no ha sido explorado. Por otra parte, en Sinaloa se estima que del 10-20% del total de producción son granos de descarte. Tanto las hojas de agave como los concentrados proteicos de origen vegetal tienen la capacidad de proporcionar antioxidantes naturales a las dietas de camarones. Por lo cual, reemplazar la harina de pescado por estos productos, representa una innovación significativa en la acuicultura al promover la sostenibilidad, reducir costos y fortalecer el sistema de defensa antioxidante de los camarones.

**Objetivo general.** Evaluar las hojas de agave y mezcla de concentrados proteicos de frijol, cártamo y chícharo en dietas para camarón blanco *P. vannamei* en el crecimiento, parámetros productivos, sistema de defensa antioxidante, capacidad digestiva y factibilidad económica.

### Objetivos particulares.

1. Evaluar la digestibilidad de ensilado de hoja de agave y concentrados proteicos de frijol, cártamo y chícharo en camarón blanco *P. vannamei*.
2. Caracterizar bioquímicamente dietas para juveniles de camarón blanco *P. vannamei*.
3. Determinar el efecto de las diferentes dietas experimentales sobre crecimiento y parámetros productivos en camarón blanco *P. vannamei* en laboratorio y granja comercial.
4. Evaluar el uso de hojas de agave y concentrados proteicos como aditivo en alimento comercial para camarón blanco *P. vannamei*.
5. Evaluar el sistema de defensa antioxidante de hepatopáncreas de camarón blanco *P. vannamei* sometidos a estrés salino en laboratorio.
6. Determinar la factibilidad económica de la adición de hojas de agave y concentrados proteicos en alimento comercial para camarón blanco *P. vannamei*.

**Estrategia metodológica.** Se obtendrán hojas de agave de productores locales de mezcal del Estado de Puebla y granos de frijol cártamo y chícharo de productores locales de Sinaloa. Se realizará un bioensayo de digestibilidad del ensilado de hoja de agave y los concentrados de proteína utilizando el método de Furukawa y Tsukahara (1966). Las dietas experimentales serán formuladas tomando en cuenta los requerimientos nutricionales reportados para camarón blanco *P. vannamei* (3). Proteína cruda se determinará, lípidos, contenido de humedad y contenido de cenizas de acuerdo a lo recomendado por la AOAC (1999). Las extracciones de las muestras y el análisis de polifenoles se realizarán por el método descrito por Marigo (1973). Para la determinación del contenido total de flavonoides se empleará el método de Luximon-Ramma *et al.* (2002). La actividad de eliminación de radicales DPPH se analizarán según Wu *et al.* (2013). La actividad captadora de radicales ABTS se determinará de acuerdo con Przygodzka *et al.* (2014) y el ensayo de potencia reductora férrica (FRAP) se determinará de acuerdo con la modificación método de Benzie y Strain (1996). Se analizará el efecto de la mezcla de los concentrados proteicos en organismos *P. vannamei* cabo durante 60 días de periodo experimental en laboratorio. Se realizará un segundo bioensayo de crecimiento en laboratorio para evaluar el efecto del uso de ensilado de agave. El tercer bioensayo en granja consistirá en utilizar las dietas que resulten estadísticamente mejor de los bioensayos de crecimiento en laboratorio. En último bioensayo de crecimiento se utilizará el ensilado de hoja de agave y concentrados proteicos como aditivos para alimento comercial en granja. Se tomarán los parámetros productivos de los y se realizara una prueba de estrés salino siguiendo la metodología de Su *et al.* (2023). Se determinará la concentración de malondialdehído (MDA) como indicador de estrés oxidativo con el método de Buege y Aust (1978). La actividad de superóxido dismutasa se determinará según McCord y Fridovich (1969). La actividad de catalasa con Aebi (1984). La actividad de glutatión peroxidasa siguiendo el método de Flohé y Günzler (1984). Por último, se realizará un modelo de negocios conocido como "Business ModelCanvas"

**Resultados esperados.** La adición del ensilado de hoja de agave y la mezcla de concentrados proteicos promoverá mejores resultados en crecimiento, variables productivas, capacidad antioxidante y serán rentables para su adición en alimentos comerciales.

### Referencias.

- (1) Tacon, A. G., & Metian, M. J. A. 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. 285(1-4), 146-158.
- (2) Naylor, R. L., Hardy, R. W., Bureau, D. P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A. P., Hua, K. J. P. o. t. N. A. o. S. 2009. Feeding aquaculture in an era of finite resources. 106(36), 15103-15110.
- (3) Akiyama, D. M. (1991). Penaeid shrimp nutrition for the commercial feed industry: revised. Paper presented at the Proceeding of the aquaculture feed processing and nutrition workshop.

## EVALUACIÓN DE LIGANDOS DIRIGIDOS CONTRA LAS PROTEÍNAS HUMANAS EGFR (HER1), BCL-2 Y BAX PARA EL TRATAMIENTO DE CÁNCER DE MAMA TRIPLE NEGATIVO

Lawrence Christopher López Méndez, Laurence A. Marchat, Absalom Zamorano Carrillo\*

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía.

azamorano@ipn.mx

Palabras clave: *cáncer triple negativo, cribado virtual, EGFR, Bcl-2*

**Introducción.** EGFR (HER1) [epidermal growth factor receptor] de la familia de receptores ErbB participa en la regulación de la proliferación, diferenciación, supervivencia y migración celular. Su activación es regulada por la unión de ligandos al dominio extracelular, lo cual permite la dimerización de los receptores y su autofosforilación, para su interacción con otras moléculas que desencadenan una cascada de señalización<sup>1</sup>. Particularmente, EGFR inhibe la apoptosis mediante su impacto en las vías MAPK, PI3K-AKT y JAK/STAT promoviendo la sobreexpresión de las proteínas anti apoptóticas Bcl-2/xL y disminuyendo la expresión de las proteínas efectoras Bad<sup>2</sup>.

El cáncer de mama es uno de los cánceres más frecuentes en la población femenina. Particularmente, el tratamiento del **cáncer de mama triple negativo (CMTN)** es muy limitado debido a la ausencia de los receptores hormonales para estrógeno y progesterona, así como la proteína HER2 de la familia ErbB contra las cuales están dirigidos los tratamientos efectivos. Sin embargo, se ha reportado la sobreexpresión compensatoria de otros receptores como EGFR (HER1) que representa un blanco molecular interesante para el diseño de nuevos fármacos antitumorales<sup>3</sup>. Los fármacos dirigidos contra el dominio tirosina quinasa de EGFR (HER1) son capaces de controlar el crecimiento tumoral, pero la aparición de mutaciones favorece eventos de resistencia, por lo que se requiere implementar estrategias terapéuticas novedosas<sup>4</sup>.

### Objetivo general.

Evaluar ligandos dirigidos contra las proteínas humanas EGFR (HER1), Bcl-2 y Bax para el tratamiento del CMTN.

### Objetivos particulares.

1. Obtener el modelo tridimensional de la proteína humana EGFR (HER1).
2. Encontrar las conformaciones más estables a través Dinámica Molecular de la proteína humana EGFR (HER1).
3. Realizar la búsqueda de ligandos que interactúen con la proteína humana EGFR (HER1).
4. Evaluar la actividad biológica de los ligandos obtenidos en líneas celulares de CMTN.
5. Evaluar el efecto combinado de ligandos dirigidos contra las proteínas humanas EGFR (HER1), Bcl-2 y Bax en líneas celulares de CMTN.

**Estrategia metodológica.** Se recuperarán los modelos tridimensionales existentes de EGFR (HER1) de las bases de datos para ejecutar simulaciones de dinámica molecular con GROMACS. Se realizará el cribado virtual dirigido con el programa Autodock Vina usando quimiotecas públicas y/o privadas para identificar nuevos ligandos. Un análisis ADMETox permitirá predecir los mejores compuestos según su farmacología. Finalmente, su efecto en la promoción de la apoptosis se evaluará en la línea celular de CMTN MDA-MB-231, en combinación con ligandos de la familia de proteínas Bcl-2.

**Resultados esperados.** Se espera que una combinación de ligandos de EGFR (HER1), Bax y Bcl-2 sean capaces de promover la apoptosis en las células de CMTN.

### Referencias.

1. Roskoski, R. (2014). The ErbB/HER family of protein-tyrosine kinases and cancer. *Pharmacological Research*, 79, 34–74. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2013.11.002>
2. Danielsen, A. J., & Maihle, N. J. (2002). The EGF/ErbB receptor family and apoptosis. *Growth Factors*, 20 (1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/08977190290022185>
3. Uribe, M. L., Marrocco, I., & Yarden, Y. (2021). EGFR in Cancer: Signaling Mechanisms, Drugs, and Acquired Resistance. *Cancers*, 13, 2748. <https://doi.org/10.3390/cancers>
4. Shaban, N., Kamashev, D., Emelianova, A., & Buzdin, A. (2024). Targeted Inhibitors of EGFR: Structure, Biology, Biomarkers, and Clinical Applications. *Cells* 13, 1. <https://doi.org/10.3390/cells13010047>

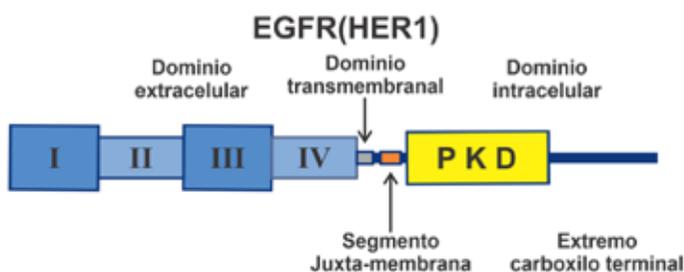


Figura 1. Dominios funcionales de la proteína EGFR (HER1)

**Planteamiento del problema.** El CMTN presenta un comportamiento clínico agresivo y una alta tasa de reincidencia, su tratamiento es limitado, por lo que se requiere implementar estrategias terapéuticas novedosas.

**Justificación.** La sobreexpresión de EGFR (HER1) en el CMTN, su participación en las vías de progresión y supervivencia celular, así como su impacto en la regulación de los factores apoptóticos de la familia Bcl-2, lo hace un blanco ideal para el desarrollo de nuevos fármacos antitumorales.

## IDENTIFICACIÓN DE VARIANTES EN EL GEN *CYP2D6* PREDICTORAS DEL FENOTIPO DE DEXTROMETORFANO EN POBLACIÓN INDÍGENA MEXICANA

Leobardo Ibarra Sánchez, Martha Sosa Macías\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango

msosam@ipn.mx

Palabras clave: *CYP2D6*, variantes nucleotídicas, genotipo, fenotipo

**Introducción.** Las enzimas del citocromo P450 (*CYP450*) son una superfamilia de proteínas encargadas del metabolismo de diferentes sustancias endógenas y de ~75% de los fármacos que se usan en la práctica clínica (1). Muchos de los genes *CYP450* presentan variantes nucleotídicas (SNV) que pueden afectar su actividad y por tanto el metabolismo de los medicamentos. Lo anterior genera diferentes fenotipos metabólicos clasificados como lentos, intermedios, normales y ultrarápidos. *CYP2D6* metaboliza el 25% de los fármacos más usados como analgésicos, antidepresivos, antihipertensivos y quimioterapéuticos. Es una de las enzimas más afectadas por SNV con 163 variantes y diversas subvariantes identificadas a la fecha. Además, exhibe variantes de número de copias (CNV), incluidas deleciones, duplicaciones y multiplicaciones del gen (2). La distribución de las SNV y CNV de *CYP2D6* depende de la etnia, por ejemplo, >20% de poblaciones judías y europeas tienen SNV no funcionales, el 45% de individuos de Asia del Este tienen SNV con función disminuida y menos del 10% de individuos de Oceanía tienen SNV con función aumentada. La frecuencia de las CNV va del 12-23% dependiendo de la población (3). México es un país con alta presencia de grupos étnicos en los que se ha determinado la frecuencia de variantes de *CYP2D6* más comunes en población caucásica y asiática, sin embargo, se ha demostrado que estas variantes no predicen el fenotipo metabólico de dextrometorfano (usado como marcador de actividad de *CYP2D6*) y por tanto, no podrían considerarse como marcadores de respuesta a fármacos metabolizados por esta enzima (4).

**Planteamiento del problema.** Actualmente, se han detectado diversas variantes en el gen *CYP2D6* asociadas con falla en la respuesta a fármacos o con reacciones adversas. Muchas de estas variantes se han incluido en guías clínicas para mejorar la eficacia y seguridad de los fármacos, principalmente en población europea. Sin embargo, en estudios previos de este grupo de investigación, se demostró que no son útiles para predecir el fenotipo de dextrometorfano en población de origen indígena de nuestro país.

**Justificación.** Las SNV y CNV identificadas en el gen *CYP2D6* explican en cierta medida la variabilidad en la respuesta a los fármacos que metaboliza la enzima. No obstante, en la población indígena mexicana estas variantes no explican las diferencias metabólicas que resultan de la actividad de *CYP2D6*. Por lo anterior, en este trabajo se propone la identificación de variantes específicas de estas poblaciones que sean de utilidad como marcadores de respuesta a fármacos que son sustratos *CYP2D6*, para mejorar su eficacia y seguridad.

**Objetivo general.** Identificar SNV y CNV en el gen *CYP2D6* que sean predictoras del fenotipo de dextrometorfano en la población indígena mexicana.

**Objetivos particulares.** 1) Identificar SNV en las regiones exónicas, intrónicas y extragénicas 5' y 3', así como CNV en el gen *CYP2D6* en los individuos que mostraron resultados paradójicos en fenotipo de

dextrometorfano. 2) Determinar la asociación entre las nuevas variantes identificadas y el fenotipo de *CYP2D6* previamente determinado. 3) Evaluar la funcionalidad de las nuevas variantes del *CYP2D6* mediante herramientas bioinformáticas. 4) Determinar la frecuencia de las nuevas variantes en la población general.

**Estrategia metodológica.** El proyecto será evaluado por un Comité de Ética reconocido por la SSA. Se identificarán las muestras de individuos cuyo genotipo no predijo el fenotipo de dextrometorfano de una genoteca del CIDIR Unidad Durango y se realizará la extracción de ADN. Posteriormente se evaluará su integridad mediante gel de agarosa y se cuantificará por espectrofotometría. Se evaluarán las regiones exónicas, intrónicas y extragénicas 3' y 5' mediante secuenciación de nueva generación (NGS). La determinación de CNV se realizará mediante una PCR de largo alcance (XL-PCR). Las variaciones identificadas serán corroboradas a través de secuenciación tipo Sanger. Se determinará la asociación entre las nuevas variantes identificadas y el fenotipo metabólico de *CYP2D6* mediante un análisis de regresión lineal. Se realizará un análisis bioinformático de las variantes identificadas con los softwares Swiss Model e I-TASSER para el modelado por homología y Autodock 4.2 para determinar su estructura tridimensional e interacción con el sustrato. Finalmente, la frecuencia de las variantes se determinará en la población general mediante PCR en tiempo real con sondas específicas.

**Resultados esperados.** Mediante este estudio se espera identificar SNV y CNV no descritas en la población indígena mexicana que puedan explicar el fenotipo de *CYP2D6* obtenido previamente. También, se espera determinar sus repercusiones funcionales y la frecuencia de estas nuevas variantes en la población general que sean de utilidad como marcadores de respuesta a fármacos.

**Referencias.** 1) Guengerich, F. P. 2008. Cytochrome P450 and Chemical Toxicology. *Chem. Res. Toxicol.* Volumen (21): 70-83. 2) Turner, A. J., Nofziger, C., Ramey, B. E., Ly, R. C., Bousman, C. A., Agúndez, J. A. G., Sangkuhl, K., Whirl-Carrillo, M., Vanoni, S., y Dunnenberger, H. M. 2023. PharmVar tutorial on *CYP2D6* structural variation testing and recommendations on reporting. *Clin. Pharmacol. Ther.* Volumen (114): 1220-1237. 3) Taylor, C., Crosby, I. Yip, V., Maguire, P., Pormohamed, M. y Turner, R. M. 2020. A Review of important Role of *CYP2D6* in Pharmacogenomics. *Genes.* Volumen (11): 1295. 4) de Andrés, F., Sosa-Macias, M., Ramos, B. P. L., Naranjo, M. E. G. y Llerena, A. 2017. *CYP450* genotype/phenotype concordance in Mexican Amerindian indigenous populations – where to from here for global precision medicine? *OMICS.* Volumen (21): 509-519.

## DETERMINACIÓN DEL MECANISMO DE SORCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN MODELOS DE AGUA UTILIZANDO ASTILLAS DE MADERA MODIFICADAS

Luis Arturo Torres Castañón, José Bernardo Proal Nájera\*  
Asesor del trabajo\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango

jproal@ipn.com

Palabras clave: Biosorbente, Sorción, Metales Pesados, Isotermas, Cinética.

**Introducción.** La contaminación del agua con metales pesados como plomo (Pb) y cadmio (Cd) es una seria amenaza para la salud pública y el medio ambiente. Los procesos de sorción, involucran la adhesión de iones metálicos a la superficie de un sorbente sólido, estos han surgido como una técnica prometedora para la remoción de contaminantes, debido a su alta eficiencia, bajo costo y fácil operación. Estudiar el mecanismo de sorción es fundamental para comprender el mecanismo y las etapas limitantes del proceso y evaluar la viabilidad de escalar el sistema para aplicaciones reales [1,2]. Los biosorbentes lignocelulósicos, como las astillas de madera, son materiales biológicos capaces de adsorber metales pesados y otros contaminantes. Son atractivos por su abundancia, bajo costo y biodegradabilidad; sin embargo, su capacidad de sorción en estado natural es limitada, lo que hace necesaria su modificación para aumentar su efectividad en la eliminación de metales pesados. [3,4]

**Planteamiento del problema.** La contaminación del agua con metales pesados como plomo (Pb) y cadmio (Cd) es una seria amenaza para la salud pública y el medio ambiente. Los métodos actuales para la remoción de estos contaminantes son costosos y poco accesibles.

**Justificación.** El desarrollo de un biosorbente basado en astillas de madera modificadas representa una alternativa para la remoción metales pesados en agua, debido a su bajo costo, fácil operación y alta eficiencia.

**Objetivo general.** Determinar el mecanismo de sorción de plomo y cadmio en modelos de aguas utilizando astillas de madera modificada.

**Objetivos particulares.** 1. Establecer e implementar el tratamiento fisicoquímico para la obtención del biosorbente. 2. Identificar los parámetros óptimos para la máxima eficiencia de remoción de plomo y cadmio. 3. Determinar las propiedades fisico-químicas de las astillas de madera modificadas. 4. Estudiar la cinética de sorción de plomo y cadmio en modelos de aguas utilizando astillas modificadas. 5. Implementar el proceso tecnológico en una matriz real.

**Estrategia metodológica.**

La Preparación biosorbente se realizará de acuerdo a la metodología de la figura 1.



Figura 1. Preparación del biosorbente

Con el biosorbente obtenido se realizarán pruebas por lotes para evaluar el efecto de variables como el pH, el tamaño de partícula, la concentración inicial de contaminante y el tiempo de contacto en el proceso de sorción, utilizando un análisis estadístico ANOVA. Se caracterizarán las astillas de madera, los productos intermedios y el biosorbente antes y después del proceso de sorción de plomo y cadmio, con el objetivo de determinar y evaluar los cambios físicos, químicos y estructurales que ocurren en el material durante los procesos de preparación y sorción. Las técnicas de análisis utilizadas y la información que proporcionan se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Técnicas instrumentales de caracterización

Información obtenida	Técnica de análisis
Composición y fases cristalinas	Difracción de rayos X (XRD)
Tamaño, composición elemental, textura y morfología	Microscopio electrónico de barrido con detector de energía dispersiva (SEM-EDX)
Área superficial y volumen de poro	Brunauer, Emmett y Teller (BET)
Grupos funcionales	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)
Punto de carga cero y punto isoeléctrico	Potencial zeta
Composición y estado químico	Espectroscopia de Fotoelectrones de Rayos X (XPS)

Se determinarán la capacidad y el tipo de sorción utilizando modelos de isotermas y cinéticos en modelos de agua. Se analizarán los mecanismos involucrados, como la sorción física o química, la difusión en la película, la difusión intrapartícula y la adsorción superficial, entre otros. Por último, se implementará un sistema a escala de laboratorio.

**Resultados esperados.** Desarrollo de un biosorbente a partir de astillas de madera para la remoción de cadmio y plomo en modelos de agua, determinando parámetros óptimos y evaluando su capacidad y cinética de sorción. Se implementará un sistema a escala de laboratorio y se publicará un artículo científico en una revista de impacto.

**Referencias.**

- Chen, Z. L., Zhang, J. Q., Huang, L., Yuan, Z. H., Li, Z. J., & Liu, M. C. (2019). Removal of Cd and Pb with biochar made from dairy manure at low temperature. *Journal of International Agriculture*, 18(1), 201–210.
- Fabre, E., Tavares, D., Vale, C., & Pereira, E. (2021). Nutshells as efficient biosorbents to remove cadmium, lead, and mercury from contaminated solutions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1580.
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451–465.
- Huang, L. Z., Zeng, G. M., Huang, D. L., Li, L. F., Huang, P. M., & Xia, C. B. (2009). Adsorption of lead (II) from aqueous solution onto *Hydrilla verticillata*. *Journal of Biodegradation*, 20, 651–660.

## ANÁLISIS DE LA RESPUESTA METABÓLICA INDUCIDA EN EL PROCESO DE INTERACCIÓN DE LOS HONGOS *Pleurotus ostreatus* Y *Aspergillus flavus*

Luis Jesús Martínez Tozcano, Martha Dolores Bibbins Martínez\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada.

mbibbinsm@ipn.mx

Palabras clave: *A. flavus*, Metabolómica, *P. ostreatus*, qPCR.

**Introducción.** Cuando diferentes especies de hongos compiten, sus interacciones entre micelios provocan cambios en la forma del micelio, lo que induce la producción de metabolitos secundarios bioactivos no generados en cultivos individuales. A la fecha, se desconoce cómo se regula la producción de metabolitos intracelulares durante la interacción competitiva. Estas interacciones influyen en las vías metabólicas, restringiendo el crecimiento, alterando la morfología y afectando la producción de metabolitos secundarios como aflatoxinas. También pueden inducir enzimas clave en la respuesta. Los basidiomicetos se han estudiado por su capacidad de producir metabolitos secundarios con propiedades antifúngicas, antibacterianas y citotóxicas (1). El hongo *Pleurotus ostreatus* ha demostrado tener un efecto antagonista frente a hongos fitopatógenos como *A. flavus*. Estudios han reportado la producción de metabolitos con actividad antifúngica en diversas condiciones de crecimiento, tanto en el cuerpo fructífero como en el micelio. (2). Por otra parte, la respuesta antagonista de este organismo también ha sido asociada con la producción de oxidasas, como la lacasa. Existen estudios sobre la efectividad de oxidasas en la degradación de aflatoxinas, pero no se ha investigado la expresión de oxidasas en *P. ostreatus* en respuesta a patógenos. El estudio de la respuesta antagonista de *P. ostreatus* frente a *A. flavus* busca contribuir al entendimiento de los mecanismos de defensa ante estrés biótico, degradación de aflatoxinas e identificación de metabolitos bioactivos.

**Planteamiento del problema.** Aunque *P. ostreatus* muestra potencial en el biocontrol de *A. flavus*, se entiende poco sobre las vías metabólicas y mecanismos de regulación activados durante su interacción. No se ha estudiado en detalle cómo la presencia de *A. flavus* induce cambios en la expresión génica y la actividad enzimática en *P. ostreatus*, ni la inducción de nuevos compuestos bioactivos.

**Justificación.** La presencia de aflatoxinas en cultivos ha causado problemas fitosanitarios, pérdidas económicas y disminución de la calidad de vida en personas y animales. Actualmente, métodos biológicos, incluyendo extractos enzimáticos o enzimas purificadas de *P. ostreatus*, son prometedores para la degradación de xenobióticos. Es relevante explorar molecularmente la respuesta de las enzimas oxidasas y peroxidasas extracelulares de *P. ostreatus* al estrés biótico (cultivo dual con *A. flavus*). Conocer la expresión de los genes de oxidasas puede revelar la participación de enzimas específicas en la oxidación de aflatoxinas y contribuir a entender los mecanismos de defensa y a identificar nuevos metabolitos bioactivos.

**Objetivo general.** Profundizar en el conocimiento de la/las vías metabólicas y mecanismos de regulación participantes en la respuesta metabólica que se induce en el proceso de interacción de los hongos *Pleurotus ostreatus* y el hongo fitopatógeno *Aspergillus flavus*.

**Objetivos particulares.** Caracterizar la cinética de crecimiento y definir el índice de antagonismo de *P. ostreatus* vs *A. flavus* en ensayos

de interacción in vitro. Evaluar el efecto de la interacción en los patrones de expresión diferencial y actividad de las oxidasas (lacasa, dxe peroxidasa, manganeso peroxidasa y versátil peroxidasa) de *P. ostreatus*. Estudiar la respuesta a nivel transcripcional de los reguladores maestros *LaeA*, *AflR*, *AflJ*, *AflS* y *BrlA* durante el proceso de interacción y definir su correlación con la síntesis de aflatoxinas y esporulación de *Aspergillus flavus*. Definir los principales metabolitos producidos diferencialmente en la interacción de *P.ostreatus* vs *A. flavus* y predecir su posible rol en el proceso de interacción fúngica.

**Estrategia metodológica.** Se establecerán cocultivos entre *P. ostreatus* y *A. flavus*, donde se determinará la actividad enzimática de oxidasas, concentración/oxidación de aflatoxinas (HPLC, ELISA), así como el porcentaje de inhibición radial. Los análisis génicos serán sobre expresión diferencial de genes (qPCR) de oxidasas y metabolismo y biosíntesis de aflatoxinas en respuesta al cocultivo (estrés biótico). Por otra parte, el análisis de los metabolomas será por LC-MS y la identificación de metabolitos y análisis de rutas metabólicas por MetaboAnalyst.

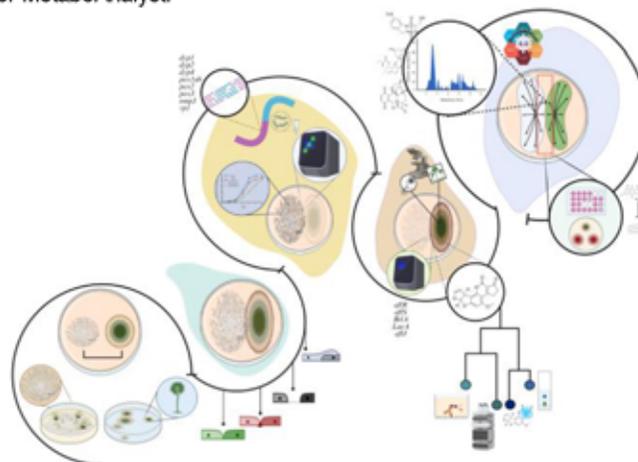


Figura 1. Estrategia experimental

**Resultados esperados.** Se esperan resultados que revelen las vías metabólicas activas, los mecanismos de regulación implicados, la eficiencia en la degradación de aflatoxinas, la producción de nuevos metabolitos bioactivos y aportaciones significativas al desarrollo de estrategias de biocontrol y conocimiento científico.

**Referencias.** 1-Suay, I., Arenal, F., Asensio, F. J., Basilio, A., Angeles Cabello, M., Teresa Díez, M., ... & Francisca Vicente, M. (2000). Screening of basidiomycetes for antimicrobial activities. *Antonie van Leeuwenhoek*, 78(2), 129-140.

2- Castillo, T. A., Lemos, R. A., Pereira, J. R. G., Alves, J. M. A., & Teixeira, M. F. S. (2018). Mycelial growth and antimicrobial activity of *Pleurotus* species (Agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 20(2).

# CARACTERIZACION FUNCIONAL DE lncRNAs EN LA DIFERENCIACION DE SUBTIPOS DE CANCER DE MAMA

Manuel Misael Coca González, David Guillermo Pérez Ishiwara, Maria del Consuelo Gómez García\*

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Laboratorio de Biomedicina Molecular 1

cgomezg@ipn.mx

Palabras clave: lncRNAs, biomarcadores, cáncer de mama, subtipos moleculares, genes *hub*.

**Introducción.** El cáncer de mama es una de las principales causas de muerte en mujeres mayores de 20 años en México. Esta enfermedad se distingue por su heterogeneidad y se clasifica en subtipos como luminal A, luminal B, HER2-enriquecido y triple negativo. A pesar de estas clasificaciones, el diagnóstico sigue siendo complejo, y los biomarcadores y blancos terapéuticos requieren una mayor personalización. Recientemente mediante el uso de programa WGCNA se analizó la expresión génica de 49 diferentes líneas celulares de cáncer de mama. Identificándose genes *hub* que correlacionaron con los subtipos de cáncer de mama luminal A, luminal B, HER2 ampl, Basal A y Basal B. Estos genes, al presentar alta expresión y numerosas interacciones con otras moléculas, son fundamentales para el fenotipo de cada subtipo. Entre ellos, destacan los lncRNAs (long non-coding RNAs), RNAs de más de 200 nucleótidos que no codifican proteínas, cuya función está relacionada con su estructura, regulando diversos procesos celulares (2). En el último año, algunos lncRNAs han sido identificados como genes *hub* y pueden actuar como biomarcadores para el diagnóstico, pronóstico o como nuevos objetivos terapéuticos (2). Sin embargo, es esencial esclarecer sus características, mecanismos de acción y los procesos celulares que regulan.

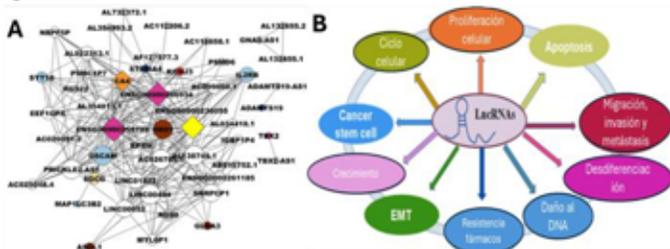


Figura 1. lncRNA en cáncer. A. Análisis de redes con lncRNA como los principales genes *hub* en líneas celulares luminal A (Tomado de Mares et al., 2024). B. lncRNA y su relación con procesos cancerígenos.

**Planteamiento del problema.** La heterogeneidad de los subtipos moleculares del cáncer de mama dificulta su diagnóstico y tratamiento. Es necesario identificar genes clave, como los lncRNAs, que puedan actuar como biomarcadores, facilitando un diagnóstico más preciso y un tratamiento personalizado según el perfil molecular de cada paciente.

**Justificación.** La identificación de lncRNAs asociados a subtipos de cáncer de mama podría permitir el desarrollo de terapias dirigidas, biomarcadores para diagnóstico y pronóstico, y plataformas para detección temprana, mejorando el manejo de la enfermedad y la calidad de vida de los pacientes.

**Objetivo general.** Caracterizar las funciones biológicas que juegan los lncRNA en el desarrollo de cáncer de mama, hacia el perfilamiento de algún subtipo molecular.

**Objetivos particulares.** 1. Caracterizar e Identificar la expresión y localización de los lncRNAs. 2. Establecer líneas celulares *Knockout* mediante la implementación del sistema CRISPR/Cas9 de los lncRNA más destacados. 3. Establecer los efectos del *Knockout* sobre las principales características de la célula tumoral. 3. Predicción *in silico* de las posibles interacciones con otros RNAs y/o proteínas

**Estrategia metodológica.** Identificación de estructura y localización de lncRNA: se usarán los servidores de predicción mxfold2 y alphafold, para conocer la estructura secundaria de los lncRNA, lncLocator, para localización y la validación se realizará mediante un análisis FISH. La expresión será evaluada por qPCR. Para la generación de líneas celulares *knockout* de lncRNA, se implementará el sistema CRISPR/Cas, para su posterior evaluación en ensayos de TUNEL, ensayos *wound healing* y *transwell* para valorar migración y proliferación. Finalmente, para el análisis de co-expresión e interacción: se utilizarán datos de expresión de la base TCGA los cuales serán analizados mediante las DESeq2 y WGCNA bajo el entorno de Rstudio.

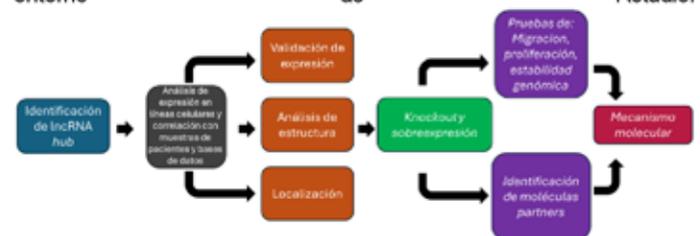


Figura 2. Flujo de trabajo y Metodología experimental

**Resultados esperados.** Se espera encontrar una expresión significativa de lncRNA. Además, se pretende ubicar espacialmente los lncRNA para entender sus funciones y demostrar que las líneas celulares dependen de estos lncRNA, observando una modificación en alguna característica oncogénica. Finalmente, se busca identificar sus potenciales interacciones (mRNA, microRNA y proteínas) para deducir mecanismos moleculares, con el objetivo de implementar una prueba de lncRNA-chip que permita diagnosticar y/o pronosticar y/o definir la susceptibilidad al tratamiento adecuado para cada subtipo de cáncer de mama.

**Referencias.** 1. Chávarri-Guerra, Y., Villarreal-Garza, C., Liedke, P. E., Knaul, F., Mohar, A., Finkelstein, D. M., & Goss, P. E. (2012). Breast cancer in Mexico: a growing challenge to health and the health system. *The Lancet Oncology*, 13(8), e335-e343.

2. Mares-Quñones, M. D., Galán-Vásquez, E., Pérez-Rueda, E., Pérez-Ishiwara, D. G., Medel-Flores, M. O., & Gómez-García, M. D. C. (2024). Identification of modules and key genes associated with breastcancer subtypes through network analysis. *Scientific Reports*, 14(1), 12350.

## EFFECTOS ANTITUMORALES DE *CICER ARIETINUM* EN UN MODELO MURINO DE CÁNCER DE MAMA BIOLUMINISCENTE 4T1-FFLUC-2H11

Maricarmen Lara-Rodríguez<sup>1</sup>, María del Consuelo Gómez-García<sup>2</sup>, Cristian Jiménez-Martínez<sup>1\*</sup>

Instituto Politécnico Nacional. <sup>1</sup>Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, <sup>2</sup>Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía.

Palabras clave: cáncer de mamá, bioluminiscencia, citotoxicidad, *Cicer arietinum*, isoflavonas *crisjm\_99@yahoo.com*

**Introducción.** El cáncer es un conjunto de enfermedades de origen multifactorial, que conllevan a una proliferación celular descontrolada (1). A pesar de que se han desarrollado tratamientos exitosos, los tumores pueden hacerse resistentes a las terapias convencionales, por lo que un número considerable de pacientes recaen, además de que producen severos daños colaterales. En este contexto, las isoflavonas representan un nuevo tratamiento terapéutico debido a sus propiedades anticancerígenas, ya que son muy parecidas a los estrógenos de mamíferos en particular al estradiol, lo que permite que se una al receptor de estrógeno. Por otro lado, en estudios *in vitro*, se ha observado que las isoflavonas presentes en las semillas de garbanzo (*Cicer arietinum*), ayudan a suprimir la angiogénesis, inducen la apoptosis e inhiben la diferenciación de las células cancerosas (2). Además, estímulos en el proceso de germinación del garbanzo aumentan más de 100 veces la producción de isoflavonas. Para poder estudiar todos estos procesos *in vivo* es necesario el uso de modelos animales en los cuales se pueda replicar la enfermedad. Sin embargo, también es importante considerar la bioética y el principio de las tres R, por lo que el uso de genes reporteros de bioluminiscencia es fundamental para dar un mejor seguimiento al desarrollo de la enfermedad y tratamientos cumpliendo con estas reglas (3).

**Planteamiento del problema.** El cáncer de mama es un problema de salud pública que ocupa el primer lugar en mortalidad entre las mujeres. Debido a esto, el desarrollo de nuevos tratamientos y/o esquemas terapéuticos y modelos *in vivo* es fundamental. Por lo que, estudiar el efecto del extracto obtenido de la germinación aplicando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como elicitador en garbanzo, para enriquecerlo en isoflavonas y evaluarlo en células de cáncer de mama, nos permitirá determinar su posible actividad citotóxica. Paralelamente el establecimiento de un modelo murino bioluminiscente estable permitirá evaluar el efecto antitumoral de las isoflavonas con la finalidad de obtener un posible blanco y potencial nuevo tratamiento, así como apearse a los nuevos objetivos de la bioética en el uso de modelos animales.

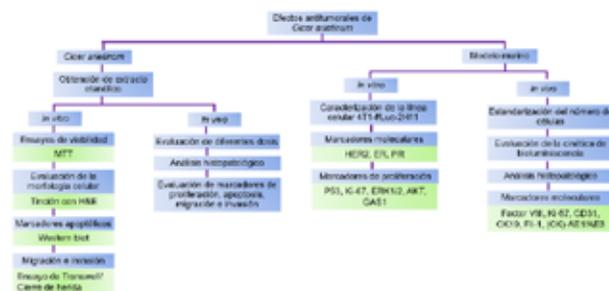
**Justificación.** El tratamiento del cáncer de mama requiere tener más opciones que ayuden a eliminar a las células cancerígenas. Por lo que inducir mediante el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> la producción de isoflavonas de *C. arietinum*, resulta una fuente importante de estas, las cuales presentan propiedades anticancerígenas que pueden ser evaluadas en el cáncer de mama. Además, la caracterización de una línea celular de cáncer de mama que permita desarrollar un modelo murino bioluminiscente estable y que permita tener un seguimiento del efecto de las isoflavonas sin necesidad de sacrificar a animales será una herramienta novedosa con un gran impacto en la bioética.

**Objetivo general.** Evaluar el efecto citotóxico y antitumoral de las isoflavonas obtenidas de la germinación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de *Cicer arietinum* en un modelo *in vitro* e *in vivo* de cáncer de mama bioluminiscente.

**Objetivos particulares.**

- I. Inducir la producción de isoflavonas en *C. arietinum* con el elicitador (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).
- II. Extraer, identificar y cuantificar las isoflavonas presentes en el extracto fitoquímico.
- III. Evaluar el efecto *in vitro* del extracto *C. arietinum* en líneas celulares de cáncer de mama.
- IV. Evaluar la expresión de marcadores hormonales y moleculares en las líneas de cáncer de mama 4T1 y 4T1-ffLuc-2H11.
- V. Implementar el modelo de cáncer de mama bioluminiscente 4T1-ffLuc-2H11 en ratonas Balb/c.
- VI. Evaluar el efecto del extracto en el modelo murino de cáncer de mama bioluminiscente.

**Estrategia metodológica.**



**Resultados esperados.** Descubrir estrategias preventivas y terapéuticas mediante el uso de isoflavonas derivadas del germinado con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de semillas de garbanzo, en el tratamiento del cáncer de mama para mejorar la supervivencia de los pacientes, así como establecer un modelo murino bioluminiscente que permita disminuir el número de animales sacrificados como modelo de estudio de esta enfermedad.

**Referencias.**

1. Hanahan, D. (2022). Hallmarks of cancer: new dimensions. *Cancer discovery*, 12(1), 31-46.
2. Dulce-María, D. A., Adrián, C. R., Cuauhtémoc, R. M., Ada-Keila, M. N., Jorge, M. C., Erika, A. S., & Edith-Oliva, C. R. (2021). Isoflavones from black chickpea (*Cicer arietinum* L) sprouts with antioxidant and antiproliferative activity. *Saudi journal of biological sciences*, 28(1), 1141-1146.
3. Baklaushev, V. P., Kilpeläinen, A., Petkov, S., Abakumov, M. A., Grinenko, N. F., Yusubalieva, G. M., & Chekhonin, V. P. (2017). Luciferase expression allows bioluminescence imaging but imposes limitations on the orthotopic mouse (4T1) model of breast cancer. *Scientific reports*, 7(1), 1-17.

## EL CULTIVO 3D DE CÁNCER DE MAMA TRIPLE NEGATIVO REPRODUCE LA EXPRESIÓN DE RNAs LARGOS NO CODIFICANTES ASOCIADOS A LA ONCOGÉNESIS

Mercedes Olvera-Valencia<sup>1</sup>, Laurence A. Marchat<sup>1\*</sup>, César López-Camarillo<sup>2\*</sup>, Eloy A. Pérez-Yepez<sup>3</sup>, Carlos Pérez-Plasencia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ENMH, Instituto Politécnico Nacional, CDMX, México, 5557296300 ext. 55543

<sup>2</sup>Posgrado en Ciencias Genómicas, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, CDMX, México.

<sup>3</sup>Laboratorio de Genómica, Instituto Nacional de Cancerología, San Fernando 22. Col. Sección XVI, 14080, Tlalpan, CDMX, Mexico, [lmarchat@ipn.mx](mailto:lmarchat@ipn.mx)

**Palabras clave:** Cáncer de mama, cultivo organotípico tridimensional, RNA largos no codificantes, proliferación celular

**Introducción.** El cáncer de mama triple negativo (CMTN) representa un desafío clínico debido a su agresividad y la falta de terapias específicas.[1] Los *long non-coding RNAs* (lncRNAs) emergen como un prometedor enfoque de investigación debido a su fuerte impacto en la regulación de vías asociadas a la oncogénesis. Al emplear cultivos tridimensionales, que mimetizan mejor el microambiente tumoral, incluyendo la interacción célula-matriz, la arquitectura tisular y las respuestas a estímulos externos, que no pueden replicarse completamente en cultivos 2D se puede evaluar el papel de los lncRNAs en la progresión del CMTN[2]. Este enfoque innovador permite comprender cómo estos ARN no codificantes interactúan con el tumor y su entorno, abriendo la puerta al desarrollo de nuevos biomarcadores y terapias dirigidas para pacientes con CMTN.

**Metodología.** Se implementó el cultivo organotípico en 3D de células de CMTN (MDA-MB-231 y BT-20) al crecerlas en matrigel por medio del método solid hanging-drop, las estructuras fueron caracterizadas por inmunofluorescencia y analizadas en Imaris v2.0. Posteriormente, se purificó el RNA con TRIzol y se analizó el perfil genómico de expresión de lncRNAs en el cultivo celular 3D en comparación con el cultivo en 2D por medio del microarreglo de Clariom D. Se compararon los cambios en la expresión de lncRNAs entre cultivos en 2D y 3D por medio del programa Transcriptome Analysis Console (TAC).

### Resultados y discusión.

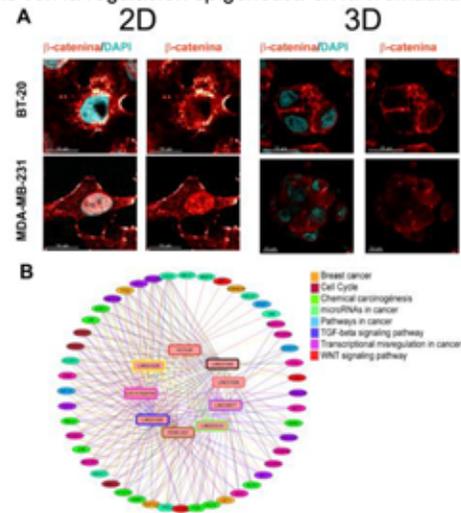
#### Diferencias Clave en la Expresión Génica entre Cultivos 2D y 3D.

Los análisis revelaron un patrón significativo de expresión diferencial entre los cultivos 2D y 3D, destacando un cambio notable en la regulación de ARNm y lncRNAs. En el cultivo 3D, se identificaron 4,941 ARNm sobreexpresados y 9,393 subexpresados, junto con 5,134 lncRNAs sobreexpresados y 645 subexpresados en comparación con el cultivo 2D. Estos resultados sugieren una modulación significativa en los transcritos que responden a la arquitectura tridimensional del tumor.

#### Regulación de la Proliferación Celular y Vías de Señalización por lncRNAs en Cultivos 3D de Cáncer de Mama Triple Negativo: Inactivación de $\beta$ -catenina y Activación de PI3K.

Los datos revelaron que los ARNm y lncRNAs sobreexpresados en cultivos 3D están enriquecidos en procesos relacionados con la proliferación celular, sugiriendo que la arquitectura tridimensional favorece esta actividad, un "hallmark" clave del cáncer. A través de inmunofluorescencia se observó  $\beta$ -catenina principalmente en uniones intercelulares y su ausencia en núcleo de los cultivos 3D.  $\beta$ -catenina activa señala para proliferación, lo que indica que en el cultivo 3D otras vías, como la PI3K, podrían estar compensando la proliferación celular, apoyada por la alta cantidad de AKT fosforilada en 3D. Además, mediante RNA-Inter, se descubrieron interacciones relevantes entre los lncRNAs sobreexpresados y factores de transcripción de diversas vías oncológicas, destacándose HOTAIR como regulador potencial de la vía Wnt. A pesar de estas

observaciones, se requiere mayor investigación para comprender la naturaleza precisa de estas interacciones, que podrían estar relacionadas con la regulación epigenética en la cromatina.



**Figura 1.** (A) Localización de  $\beta$ -catenina (rojo) y DAPI (azul) en líneas celulares BT-20 y MDA-MB-231 cultivadas en 2D y 3D. Barra de escala: 15  $\mu$ m. (B) Red de interacción de lncRNAs sobreexpresados en el cultivo 3D con factores de transcripción y vías relacionadas con el cáncer, ciclo celular, señalización Wnt y otras vías oncogénicas.

**Conclusiones y perspectivas.** El entorno 3D induce cambios significativos en la expresión génica y la proliferación celular en células de cáncer de mama triple negativo. La inactivación de  $\beta$ -catenina y la activación de la vía PI3K, junto con el papel regulador de lncRNAs como HOTAIR, resaltan su importancia en la señalización celular. Es esencial investigar más a fondo cómo los lncRNAs regulan estas vías en 3D para desarrollar terapias dirigidas y avanzar hacia tratamientos personalizados del cáncer.

**Agradecimientos.** Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología CONAHCyT (Beca F003 #51207/2020).

### Referencias.

- Harbeck, N.; Penault-Llorca, F.; Cortes, J.; Gnant, M.; Houssami, N.; Poortmans, P.; Ruddy, K.; Tsang, J.; Cardoso, F. Breast Cancer. *Nat Rev Dis Primers* **2019**, *5*, doi:10.1038/s41572-019-0111-2.
- Lee, G.Y.; Kenny, P.A.; Lee, E.H.; Bissell, M.J. Three-Dimensional Culture Models of Normal and Malignant Breast Epithelial Cells. *Nat Methods* **2007**, *4*, 359–365, doi:10.1038/nmeth1015.

# HIDROLIZADO DE CAMARONES INFECTADOS CON VIRUS DE LA MANCHA BLANCA (WSSV) ADICIONADO EN LA DIETA COMO INDUCTOR DE RESISTENCIA CONTRA ENFERMEDADES VIRALES EN CAMARÓN BLANCO (*Penaeus Vannamei*)

Nallely Michelle Panduro López, Pindaro Álvarez Ruiz\*.

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa

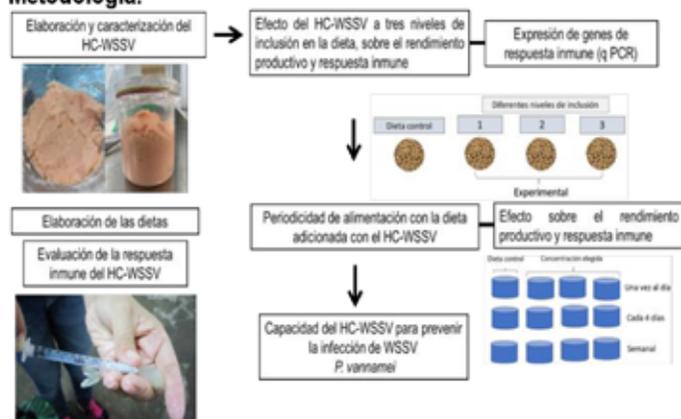
palvarez@ipn.mx

Palabras clave: Hidrolisis, virus, WSSV, inmunidad, camarón, IHNV

**Introducción.** La camaronicultura actualmente se ha convertido en una de las actividades agroalimentarias con mayor auge nacional e internacional. Según la FAO, el camarón blanco (*Penaeus vannamei*) representó el primer lugar de la producción mundial de crustáceos en 2020, colocándose dentro de las principales especies producidas por la acuicultura (1). En México, llegó a representar una tercera parte del volumen total de la producción acuícola nacional. Sin embargo, la mayor amenaza que afecta a la industria son las mortalidades causadas por enfermedades asociadas principalmente a patógenos virales. Algunos de los virus que afectan a los camarones son nombrados de acuerdo con sus características o signos que provocan. Uno de los más estudiados por su virulencia y letalidad es el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV). Por otro lado, el virus de la necrosis infecciosa hipodermal hematopoyética (IHNV) no causa mortalidades significativas en los cultivos, sin embargo, está asociado a tasas de crecimiento bajas y disparidad de tallas, mismas que deterioran la calidad de los camarones en la cosecha.

El sistema inmune del camarón se basa en una inmunidad innata caracterizada por la falta de memoria inmunológica lo cual obstaculiza la generación de anticuerpos contra patógenos específicos. En este sentido, se han evaluado estrategias aplicando virus infectivos a niveles sub-letales, virus inactivados, subunidades proteicas y terapia con ácidos nucleicos (2).

## Metodología.



## Resultados y discusión.

Caracterización de hidrolizados de músculo de camarón infectado con WSSV se obtuvo un hidrolizado con una textura pastosa y olor neutro tanto en el hidrolizado control como en el infectado.



Figura 1. Cambios físicos del hidrolizado infectado durante la hidrolisis, A: Músculo de camarón infectado homogenizado antes de adicionar el ácido fórmico; B: HC-WSSV tiempo 0 después de adición del ácido; C: HC-WSSV día 5; D: HC-WSSV día 10; E: Músculo de camarón homogenizado antes de adición de ácido; F: HC tiempo 0 después de adición de ácido; G: HC día 10.

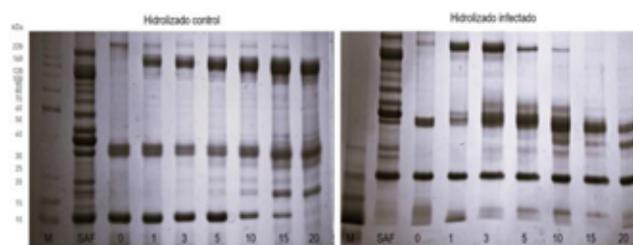


Figura 2. Geles de poliacrilamida (SDS-PAGE 12%) hidrolizado control e infectado, monitoreo 20 días.

## Conclusiones

Los hidrolizados obtenidos presentan las características organolépticas esperadas, y se procederá con su aplicación en bioensayos de prueba.

## Referencias.

1. FAO. 2022. El estado de la pesca y la acuicultura 2020. <https://www.fao.org/3/cc0461es/online/sofia/2022/aquaculture-production.html>
2. Boonyakida, J; Takafumi, N; Jun, S; Yoshiko, S; Tohru M. 2022. Immunostimulation of shrimp through oral administration of silkworm pupae expressing VP15 against WSSV. Fish and Shellfish Immunology. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.07.043>

# ELUCIDACIÓN DE LA FUNCIÓN DE AHY-MIR160 Y AHY-MIR397 EN LA RESPUESTA A ESTRÉS ABIÓTICO EN AMARANTO PARA SU POSIBLE USO AGROBIOTECNOLÓGICO

Neri Pluma Polvo, Flor de Fátima Rosas Cárdenas\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada

frosasco@ipn.mx

Palabras clave: *miRNAs, amaranto, estrés abiótico, línea transgénica, sobreexpresión, genes blanco*

**Introducción.** El cambio climático, impulsado por el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, está provocando temperaturas más altas, cambios en los patrones de lluvia y sequías más severas [4]. Este calentamiento global se ha acelerado en las últimas décadas y se espera que continúe en el futuro. El amaranto (*Amaranthus L.*), un cultivo originario de América, se destaca por su alto valor nutricional y su tolerancia a factores de estrés ambiental como salinidad, sequía y plagas [2]. Recientes estudios han ensamblado genomas de especies cultivadas y silvestres de amaranto [3]. Los microRNAs (miRNAs), presentes en animales y plantas, regulan la expresión génica y son esenciales para el desarrollo y la respuesta al estrés en las plantas. El miR397 regula genes que codifican proteínas con actividad oxidoreductasa, siendo esta actividad la más significativa entre las funciones moleculares de los genes objetivo en el amaranto [1]. Por otro lado, miR160 se ha confirmado ampliamente en muchas plantas modelo y no modelo, es uno de los miRNAs que regulan las vías de señalización de la auxina y desempeña un papel fundamental en diversos procesos biológicos de las plantas.

**Planteamiento del problema.** Los miR160 y miR397 juegan un papel importante en la respuesta al estrés en amaranto, lo cual es de interés para conocer que genes podrían estar implicados con estos miRNAs y el efecto que podrían tener al ser sobreexpresados (OE) y evaluados a diferentes condiciones abióticas como la sequía, el frío y el calor.

**Justificación.** El cambio climático afecta gravemente la agricultura a nivel global, siendo la sequía uno de los principales desafíos en México, donde el 74% del país enfrenta estrés hídrico. El amaranto, un alimento altamente nutritivo y respaldado por la FAO, puede jugar un papel crucial en la seguridad alimentaria. Este estudio busca evaluar la sobreexpresión de miRNAs, como ahy-miR160 y ahy-miR397, para mejorar la resistencia al estrés abiótico. Los resultados podrían facilitar el desarrollo de cultivos más resilientes, reducir la dependencia de condiciones climáticas favorables y asegurar una fuente constante de alimentos nutritivos en áreas afectadas por la sequía.

**Objetivo general.** Determinar el papel de los miRNAs ahy-miR160 y ahy-miR397 en la respuesta a estrés abiótico y su impacto en la fisiología de las plantas para su uso agrobiotecnológico.

**Objetivos particulares.**

1. Generar construcción para la sobreexpresión de los miRNAs ahy-miR160 y ahy-miR397
2. Generar líneas transgénicas de amaranto sobreexpresoras del microRNAs ahy-miR160 y ahy-miR397
3. Analizar la respuesta molecular, fisiológica y metabólica de las plantas sobreexpresoras de ahy-miR160 y ahy-miR397 en respuesta a estrés abiótico

**Estrategia metodológica.** La generación de cepas transformantes, se emplearán semillas de *Amaranthus hypochondriacus* variedad "Gabriela" sembradas en charolas de 24x16x11 cm en invernadero con

condiciones semicontroladas. Las secuencias precursoras de ahy-miR160 y miR397 se generarán mediante clonación recombinante Gateway, diseñando plásmidos en Snap Gene Viewer y clonándolos en *Escherichia coli* usando el kit One Shot. Tras identificar las secuencias en bases de datos como miRBase, se transferirán a *Agrobacterium tumefaciens* GV3101. La transformación se realizará mediante choque eléctrico y selección con PCR para verificar la inserción del miRNA. Por otra parte, la generación de Líneas transgénicas OE, se utilizará el método floral-dip en *Amaranthus hypochondriacus* para obtener transformantes estables. Las inflorescencias se sumergirán en soluciones específicas, cubriéndose luego las plantas por 12 horas. Tras la recolección de semillas, se validarán las plantas transgénicas usando herbicida BASTA y PCR convencional para evaluar la expresión de los miRNAs. Posteriormente se realizará una caracterización de fenotipos en las plantas OE de ahy-miR160 y ahy-miR397 se monitorearán semanalmente, registrando el número de hojas, longitud del tallo, inflorescencias, germinación, y vigor. Se observarán cambios morfológicos y de coloración en comparación con las plantas wild type. Posteriormente se realizará un análisis de genes blanco, donde se identificarán los genes blanco de los miRNAs usando psRNATarget, validando ortólogos con herramientas bioinformáticas y evaluando su expresión mediante PCR semicuantitativa. Por último, se evaluará la respuesta a estrés abiótico en las plantas, las cuales se cultivarán en invernadero y se someterán a control, frío (4°C, 12 h), calor (45°C, 11 h) y sequía. Se evaluarán daños en tejidos y se registrarán respuestas fenotípicas a los diferentes tratamientos ambientales.

**Resultados esperados.** Las líneas transgénicas de amaranto mostrarán un impacto fisiológico en las plantas por la interacción con sus genes blanco. Se determinará la red de interacción de los miR160 y miR397 con los genes blanco. Los microRNAs ahy-miR160 y ahy-miR397 podrían ser esenciales en la respuesta a estrés abiótico en amaranto.

**Referencias.**

- [1] Núñez, M. M., Rivas, M. R., Jorge, J. G., Hernández, P. F. V., Suárez, S. L., de Folter, S. & Cárdenas, F. D. F. R. (2021). Identification of genuine and novel miRNAs in *Amaranthus hypochondriacus* from high-throughput sequencing data. *Genomics*, 113(1), 88-103.
- [2] Omami, E. N., & Hammes, P. S. (2006). Interactive effects of salinity and water stress on growth, leaf water relations, and gas exchange in amaranth (*Amaranthus* spp.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 34(1), 33-44.
- [3] Singh, A., Mahato, A. K., Maurya, A., Rajkumar, S., Singh, A. K., Bhardwaj, R., & Singh, R. (2023). Amaranth Genomic Resource Database: an integrated database resource of Amaranth genes and genomics. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1203855.
- [4] Swann, A. L. (2018). Plants and drought in a changing climate. *Current Climate Change Reports*, 4, 192-201.

## DESARROLLO DE UN BIOSENSOR COLOIDAL PARA LA DETECCIÓN DE METALES PESADOS

Nina Torres-Valencia, Raúl Jacobo Delgado-Macuil, Orlando Zaca-Moran, Manasés González-Cortázar, Ignacio Villanueva-Fierro, Valentin López-Gayou\*

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada unidad Tlaxcala.

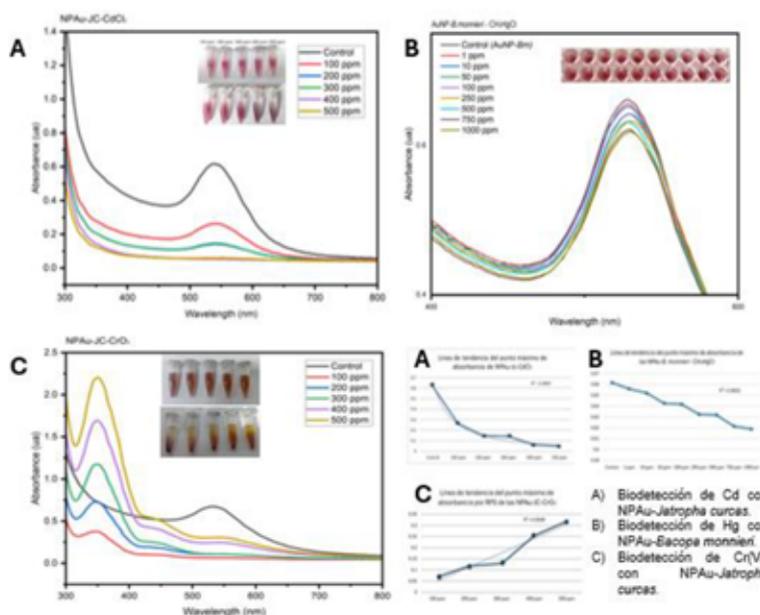
vlopezg@ipn.mx

Palabras clave: Biosensor, metales pesados, nanopartículas de oro, síntesis verde, biodetección.

**Introducción.** Debido a sus propiedades ópticas y fisicoquímicas, las nanopartículas (NP) han sido ampliamente estudiadas en el campo de la biodetección. Para el reconocimiento de metales pesados, los sensores colorimétricos a partir de nanopartículas de oro (NP Au) poseen la capacidad de arrojar resultados similares como los que se obtienen mediante el uso de un equipo tradicional, debido a que, al interactuar el ion metálico de interés, la solución presentará un cambio de color que se aprecia a simple vista, además, al analizar mediante espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Vis), es posible reconocer esta interacción mediante la intensidad de la banda de absorbancia por la resonancia de plasmón superficial (RPS) (Chang *et al.*, 2019). Los extractos de plantas contienen compuestos cuyos grupos funcionales interactúan y reducen iones metálicos, de esta forma se favorece la capacidad de síntesis verde de nanopartículas y la detección colorimétrica de metales pesados. El objetivo de este trabajo consistió en evaluar nanopartículas de oro (NP Au) obtenidas mediante la síntesis verde de NP Au con extractos vegetales de *Bacopa monnieri* y el látex de *Jatropha curcas* con la intención de diseñar una ruta ecológica de síntesis de NP Au con actividad de biodetección para iones de Hg, Cd y Cr cloruro de metil-mercurio ( $\text{CH}_3\text{HgCl}$ ), cloruro de cadmio ( $\text{CdCl}_2$ ) y trióxido de cromo ( $\text{CrO}_3$ ) disueltos en agua a diferentes concentraciones.

**Metodología.** La preparación de extractos se obtuvo a partir de la bipartición de los extractos completos de las especies vegetales estudiadas. Para la síntesis de nanopartículas de oro, se utilizó como precursor metálico  $\text{HAuCl}_4$ ; las fracciones acuosas y orgánicas obtenidas fueron evaluadas con la intención de reconocer los sistemas con mejor desempeño al momento de la síntesis. Una vez reconocidas las especies vegetales de interés (*Jatropha curcas* y *Bacopa monnieri*) se realizaron las pruebas de biodetección con soluciones de concentración conocida de (1, 50, 100, 250, 500, 750 y 1000 ppm) para el caso de Hg y 100, 200, 300, 400 y 500 ppm para Cr y Cd. Los resultados fueron evaluados mediante un barrido de 300 a 800 nm espectroscopía UV-Vis y por la variación en la coloración de muestras.

**Resultados y discusión.** Las especies vegetales *Jatropha curcas* y *Bacopa monnieri* poseen la capacidad de llevar a cabo la biosíntesis de nanoestructuras de oro estables. Además, estos sistemas tuvieron un comportamiento gradual que se puede observar en la resonancia de plasmón superficial (RPS) en función de la concentración de iones de metales pesados aplicada como se aprecia en los espectros UV-Vis de la Figura 1. También se observa un cambio de color en las soluciones coloidales y la linealidad de la respuesta señal de nanopartículas correspondiente a cada concentración suministrada.



**Figura 1.** A) Espectro UV-Vis de la interacción de las NP Au-J. curcas con las soluciones de Cd B) Espectro UV-Vis de la interacción de las NP Au-B. monnieri con las soluciones de Hg a diferentes concentraciones y C) Espectro UV-Vis de la interacción de las NP Au-J. curcas con las soluciones de Cr. En la parte interior derecha de la figura se observa la linealidad de la respuesta señal correspondiente a cada uno de los tratamientos.

**Conclusiones y perspectivas.** Se logró identificar un sistema con potencial actividad de biodetección de metales pesados obtenido de la síntesis verde de nanoestructuras de oro a partir de *Bacopa monnieri* y del látex de *Jatropha curcas* que refleja un comportamiento gradual en función de la concentración aplicada de iones de Hg, Cd y Cr. Las tres formas de detección fueron desarrolladas mediante metodologías ecológicas. Se propone realizar pruebas de selectividad, sensibilidad, caracterización y comprobación del método mediante Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA).

**Agradecimientos.** Se agradece el apoyo del Instituto Politécnico Nacional por el financiamiento otorgado a través del proyecto SIP No. 20240470 y a CONAHCYT por la BECA otorgada.

**Referencias.** Chang, C.-C., Chen, C.-P., Wu, T.-H., Yang, C.-H., Lin, C.-W., & Chen, C.-Y. (2019). Gold Nanoparticle-Based Colorimetric Strategies for Chemical and Biological Sensing Applications. *Nanomaterials*, 9(6), 861. <https://doi.org/10.3390/nano9060861>.

## THE EFFECT OF NATURAL COMPOUND ON CANCER CELL DEATH AND INVASION INHIBITION

Noor Yaseen, Ivette Astrid \*, Dra. Maria Eugenia Jaramillo Flores

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Biotecnología.

jaramillo\_flores@hotmail.com

Palabras clave: *Cervical cáncer, Naringenin, naringin, apigenin,*

### Introduction.

Cervical cancer remains a significant public health issue, especially among women. It ranks as the fourth most common cancer in women worldwide in 2018 and is the third most diagnosed cancer in females. Human papillomavirus (HPV) infection is the primary risk factor for the development of cervical cancer. Cervical HPV is contracted by women through genital skin-to-skin contact, typically during sexual activity with an infected partner or multiple sex and early marriage cause cervix cancer. Cervical cancer rates are persistently high in lower-income and lower-middle-income countries, which poses serious risks to women's health and longevity. The main course of treatment for cervical cancer in its early stages is usually surgery. Radiation and chemotherapy have long been the standard treatments for cervical cancer, offering significant benefits in reducing mortality. However, these approaches often come with severe toxic side effects, especially with prolonged use. This has led to an urgent need for alternative therapies that are both effective and have fewer side effects. Natural products, including plant extracts and isolated compounds, have become promising candidates in the ongoing search for cancer treatments.

### Justificación.

This study explores naringin, a citrus flavonoid, as a potential cervical cancer treatment. Preclinical evidence shows that naringin inhibits tumor growth and induces apoptosis by targeting key signaling pathways. The research aims to elucidate its mechanism, advancing safer and more effective therapeutic options.

### General objectives.

To analyze the underlying mechanisms of cell death due to naringin by quantifying the potential inhibiting effects on various cell signaling pathways and its impact on the cell cycle.

### Specific objectives.

To investigate the potential anticancer effects of naringin using cervical cancer cell lines, including HPV-16 positive SiHa, HPV-18 positive HeLa, and HPV-negative C33A.

To study the effect of naringenin on the cell death of cervical cancer cells and to inhibit invasion.

To assess the effect of naringenin on cell cycle using FAK, MMP, Zeb1, Tp2, Bax, Bcl2, P53 and Caspases.

### Materials and methods.

This study utilizes a controlled in vitro design to evaluate the effects of naringin on cervical cancer cell lines—HPV-16 positive SiHa, HPV-18 positive HeLa, and HPV-negative C33A. The impact of naringin on cell proliferation, apoptosis, and invasion is assessed using MTT, WST-8, flow cytometry, and invasion assays

### Expected results.

Naringin is expected to inhibit cell proliferation in cervical cancer cell lines (SiHa, HeLa, C33A) in a dose-dependent manner, induce apoptosis, and alter cell cycle progression by reducing S and G2/M phase populations. It is also anticipated to decrease invasion and migration capabilities, with molecular analyses revealing changes in apoptotic proteins (Bax, Bcl-2), cell cycle regulators (cyclin D1), and invasion-related genes (MMPs) through Western blotting and qPCR.

### References.

1. Wencel-Wawrzeńczyk, A., Lewitowicz, P., Lewandowska, A., & Saluga, A. (2022). Sexual behavior and the awareness level of common risk factors for the development of cervical, anogenital and oropharyngeal cancer among women subjected to HR HPV DNA-testing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9580.
2. Shilpa, V., Shams, R., Dash, K. K., Pandey, V. K., Dar, A. H., Ayaz Mukarram, S., Harsányi, E., & Kovács, B. (2023). Phytochemical properties, extraction, and pharmacological benefits of naringin: a review. *Molecules*, 28(15), 5623.
3. Lehtinen, M., Bruni, L., Elfström, M., Gray, P., Logel, M., Mariz, F. C., Baussano, I., Vänskä, S., Franco, E. L., & Dillner, J. (2024). Scientific approaches toward improving cervical cancer elimination strategies. *International journal of cancer*, 154(9), 1537-1548.
4. Gültekin, O., Erkaplan, S., Uzun, H., & Güney, E. (2020). Investigation of Academic Staff's Self-Efficacy Using the Educational Internet. *Higher Education Studies*, 10(3), 26-33.

## ESTUDIO ÓMICO DE MOLECULAS ASOCIADAS A QUORUM SENSING EN UN CONSORCIO MICROBIANO CON POTENCIAL PARA LA DEGRADACIÓN DE MICROPARTÍCULAS DE PET

Raquel Rodríguez Gutiérrez, Diana Verónica Cortés Espinosa\*.

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Unidad Tlaxcala.

dcortes@ipn.mx

Palabras clave: Consorcio, quorum sensing, ómicas, biodegradación, PET.

**Introducción.** Los plásticos, son materiales duraderos y económicos que se pueden moldear fácilmente en una amplia variedad de productos que se utilizan en una gran variedad de aplicaciones (1). Si los clasificamos en función de su tamaño, podemos mencionar a los microplásticos, que son partículas de menos de 5 mm de longitud. El notable aumento de estas partículas liberadas a los ecosistemas tiene consecuencias preocupantes para el medio ambiente, la vida silvestre y la salud humana, por ser materiales altamente resistentes a la degradación (2). Existen varias tecnologías y estrategias para combatir la contaminación por microplásticos en el suelo y el agua; sin embargo, la biodegradación se considera la forma más apropiada para la eliminación de estas partículas. Esta técnica se basa en el uso de microorganismos capaces de modificar la estructura química de los microplásticos y consta de cuatro etapas: La deterioración, fragmentación, asimilación y mineralización, aunado a esto, la etapa de asimilación incluye la formación de biopelículas, la cual está mediada por un proceso de comunicación celular denominado *quorum sensing* (3). Con el objetivo de dilucidar como ocurren estos procesos, que genes, metabolitos y proteínas están asociados y su injerencia en los mecanismos de degradación, se emplearán técnicas ómicas en el desarrollo del presente estudio.

**Metodología.** Construcción de un consorcio microbiano con potencial para la formación de biopelículas sobre la superficie de PET: Recolectación de muestras y screening de microorganismos.

**Resultados y discusión.** Se recolectaron muestras de agua y sedimento de un efluente industrial, ubicado en San Mateo Ayecac, Tlaxcala (19°17'20.1" N, 98°23'08.8" W), siguiendo los procedimientos descritos por Normas Oficiales Mexicanas, con el objetivo de obtener aislados microbianos para la conformación del consorcio. Por otra parte, conocer las propiedades fisicoquímicas que caracterizan a los sistemas analizados, brinda un panorama general de las atenuaciones o efectos que han impactado de manera importante a cada uno de ellos, así como de las comunidades microbianas que lo conforman

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de las muestras recolectadas

Parámetro	Agua		Sedimento	
	Valor	Clasificación*	Valor	Clasificación*
pH	7.06	Neutro	7.71	Medianamente Alcalino
Humedad (%)	NA		70.8	
Materia orgánica (%)	1.0	Bajo	2.48	Medio
Carbono (%)	0.6	Bajo	1.44	Medio

Nitrógeno (%)	0.01	Muy alto	0.06	Muy alto
Fósforo (%)	0.000592	Medio	0.42	Alto

\*Basado en la NOM-021-SEMARNAT-2001

Posteriormente se realizó la selección de los microorganismos que conformarán el consorcio, en función de su capacidad para colonizar la superficie del PET bajo condiciones como: Ausencia de glucosa, baja concentración de glucosa y concentración normal de la misma.

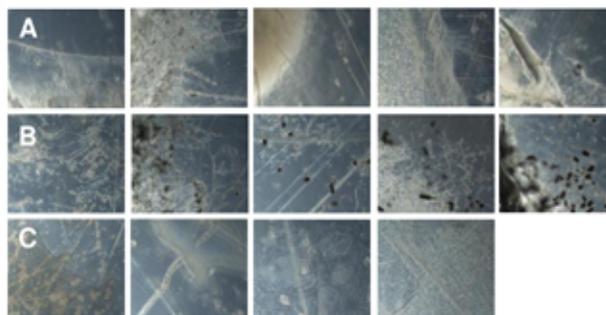


Figura 1. Micrografías de la colonización de aislados obtenidos en PET. A) Levaduras. B) Hongos filamentosos. C) Bacterias.

**Conclusiones y perspectivas.** Se observó que, la colonización del plástico fue más eficiente en presencia de glucosa, lo que indica probablemente, que los microorganismos co-metabolizan los sustratos disponibles para promover el funcionamiento de la maquinaria enzimática necesaria para la transformación química del PET. Adicional, los aislados seleccionados están mejor adaptados ya que provienen de muestras conformadas por fibras elaboradas de PET. Como perspectivas podemos mencionar la conformación de un consorcio mixto único en su clase.

**Agradecimientos.** Al IPN, CIBA – Tlax y CONAHCYT por su apoyo académico y económico.

### Referencias.

1. Thompson C, Moore J, vom Saal S, Swan H 2009 Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 364 (1526):2153–2166.
2. Moharir R, y Kumar S (2019) Challenges Associated with Plastic Waste Disposal and Allied Microbial Routes for its Effective Degradation: A Comprehensive Review. *Journal of Cleaner Production*. 208:65-76.
3. Jaiswal S, Sharma B, Shukla P (2019) Integrated approaches in microbial degradation of plastics. *Environmental Technology & Innovation*. 100567.

# ANÁLISIS TRANSCRIPTÓMICO DE ADIPOCITOS DE MÉDULA ÓSEA DE RATAS ESPONTÁNEAMENTE HIPERTENSAS.

Rohullah, Ivette Astrid Martínez-Vieyra, Doris Cerecedo\*.

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Laboratorio de Hematobiología.

dcerecd@ipn.mx.

Palabras clave: *Transcriptómica, médula ósea, ratas espontáneamente hipertensas.*

## Introducción.

La médula ósea no solo concentra a tejido hematopoyético, sino que también existe una población significativa de adipocitos [1], que desempeñan un papel en la regulación del microambiente hematopoyético y en el metabolismo óseo. La disfunción de los adipocitos en la hipertensión arterial sistémica (HAS), contribuye a la patogénesis de la enfermedad y afectar la homeostasis sistémica, por el aumento de la lipólisis y la secreción de adipocinas proinflamatorias. Esto puede alterar el equilibrio entre los adipocitos y otras células de la médula ósea, como las células troncales hematopoyéticas y osteoprogenitoras [2]. Además, la inflamación y fibrosis inducidas por los adipocitos pueden contribuir a la disfunción ósea, aumentando el riesgo de osteoporosis y fracturas.

En el presente proyecto se propone emplear transcriptómica, para conocer el estudio integral de los transcritos de ARN en una célula o grupo de células, se ha convertido en una herramienta esencial para explorar la diversidad y la heterogeneidad celular. Esto permitirá detectar subpoblaciones celulares previamente no reconocidas, identificar marcadores específicos y comprender mejor los mecanismos moleculares subyacentes a la diversidad fenotípica de adipocitos de médula ósea de ratas espontáneamente hipertensas en comparación con ratas normotensas.

## Planteamiento del problema.

Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muertes prevenibles a nivel global, siendo la hipertensión el principal factor de riesgo para desarrollarlas [3] debido a su asociación con alteraciones en la composición celular sanguínea. Comprender como los adipocitos de médula ósea pueden contribuir a dichos cambios podría representar un avance importante para desarrollar mejores estrategias terapéuticas y de diagnóstico para la hipertensión.

## Justificación.

Este estudio es fundamental para comprender mejor los mecanismos moleculares subyacentes a la disfunción de adipocitos en el contexto de la hipertensión arterial sistémica y su impacto en la salud ósea. La investigación contribuirá al conocimiento científico sobre la relación entre la hipertensión y la disfunción ósea, lo que podría llevar al desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas.

**Objetivo general.** Analizar el perfil transcriptómico de adipocitos de médula ósea en ratas espontáneamente hipertensas para identificar diferencias significativas en comparación con ratas normotensas.

## Objetivos particulares.

- 1.- Identificar subpoblaciones celulares específicas en los adipocitos de médula ósea.
- 2.- Detectar marcadores moleculares específicos de la hipertensión en adipocitos.
- 3.- Comprender los mecanismos moleculares que contribuyen a la disfunción de adipocitos en la hipertensión.

## Estrategia metodológica.

Se empleará transcriptómica para estudiar el perfil de ARN en los adipocitos de médula ósea de ratas espontáneamente hipertensas y compararlo con el de ratas normotensas. Esta estrategia permitirá la identificación de subpoblaciones celulares y la exploración de mecanismos moleculares específicos.

## Resultados esperados.

Se espera encontrar diferencias significativas en los perfiles transcriptómicos de los adipocitos, lo que proporcionará información valiosa sobre los mecanismos de disfunción celular en la hipertensión y posibles marcadores moleculares para intervenciones terapéuticas.

## Referencias.

1. Suchacki KJ, Tavares AAS, Mattiucci D, Scheller EL, Papanastasiou G, Gray C, Sinton MC, Ramage LE, McDougald WA, Lovdel A, Sulston RJ, Thomas BJ, Nicholson BM, Drake AJ, Alcaide-Corral CJ, Said D, Poloni A, Cinti S, Macpherson GJ, Dweck MR, Andrews JPM, Williams MC, Wallace RJ, van Beek EJR, MacDougald OA, Morton NM, Stimson RH, Cawthorn WP. Bone marrow adipose tissue is a unique adipose subtype with distinct roles in glucose homeostasis. *Nat Commun.* 2020 Jun 18;11(1):3097. doi: 10.1038/s41467-020-16878-2.2. Matsushita Y, Ono W, Ono N. Toward Marrow Adipocytes: Adipogenic Trajectory of the Bone Marrow Stromal Cell Lineage. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2022 Apr 22;13:882297. doi: 10.3389/fendo.2022.882297.
3. Saloni Dattani, Veronika Samborska, Hannah Ritchie and Max Roser (2023) - "Cardiovascular Diseases" Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/cardiovascular-diseases' [Online Resource]

## EVALUACIÓN DE UN FILTRO PERCOLADOR PARA LA DEGRADACIÓN DE COLORANTES SINTÉTICOS POR *Halomonas* sp. UTILIZANDO RESIDUOS FORESTALES COMO SOPORTE Y FUENTE DE MEDIADORES REDOX

Rosa Huerta-Servin, Blanca Estela Barragán-Huerta \*, Marco Antonio Garzón-Zúñiga

Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Ingeniería en Sistemas Ambientales, Laboratorio de Residuos Peligrosos

bbarraganh@ipn.mx

Palabras clave: decoloración, *Halomonas* sp, colorantes, residuos forestales

**Introducción.** Los colorantes y pigmentos son ampliamente utilizados en diversas industrias, siendo la textil la más relevante. Los colorantes sintéticos, son moléculas recalcitrantes que se convierten en contaminantes al ser liberados al ambiente a través de los efluentes industriales generando diversas amenazas ambientales, como la fotosíntesis deprimida provocando la disminución del oxígeno disuelto y repercutiendo en la biota de los sistemas acuáticos (1,2). La diversidad y recalcitrancia de éstos dificulta el empleo de tratamientos convencionales para la eliminación eficiente de una amplia gama de colorantes. Los efluentes de las industrias textiles suelen caracterizarse por presentar una alta salinidad y alcalinidad ( $\text{pH} \approx 11$ ), por lo que la biorremediación de estos efluentes requiere inevitablemente la aplicación de microorganismos halo-alcalófilos, que son capaces de adaptarse y funcionar fisiológicamente en condiciones extremas (2). El presente trabajo explora el desarrollo de un tratamiento biológico mediante un filtro percolador en el cual se implementará el uso de residuos forestales como medio de soporte para la cepa *Halomonas* sp. y su posible capacidad de proveer mediadores redox para la aceleración de los procesos de biodegradación de diferentes clases químicas de colorantes sintéticos presentes en los efluentes industriales para cumplimiento de la normatividad mexicana vigente y seguimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

**Metodología.** Se utilizó la cepa *Halomonas* sp., se acondicionó para su uso en pruebas de tolerancia al extracto de los residuos forestales y cinética del efecto de los extractos de los residuos forestales en la degradación de colorantes. Se evaluó la capacidad del residuo forestal como medio de soporte para la inmovilización de *Halomonas* sp, y se evaluó la remoción de colorante, posteriormente se realizó el análisis de metabolitos de los efluentes tratados y la toxicidad de los efluentes tratados mediante 3 bioensayos.

**Resultados y discusión.** Cinética de decoloración en lote con biomasa inmovilizada en soportes forestales. La inmovilización celular permite mantener una concentración adecuada de biomasa, confiere protección frente a una mayor concentración de compuestos orgánicos que son tóxicos para las células libres y promueve la formación de micro-nichos dentro de los poros del empaque donde existe un gradiente de oxígeno (3). El tratamiento de aguas residuales textiles es complejo y se enfrenta a condiciones fluctuantes en sus parámetros fisicoquímicos y tipo de colorante. Por ello, se realizó la inmovilización de *Halomonas* sp en residuos forestales como soporte, se evaluaron diferentes concentraciones y tipos de colorante para analizar el rendimiento de decoloración, previa saturación de éstos, seguido de cinéticas de decoloración de colorantes. El potencial de los residuos con biomasa inmovilizada en residuos forestales para la biodegradación de colorantes azo y antraquinónicos se evaluó

mediante medidas de absorbancia UV-Vis. Las soluciones de colorante se sometieron a degradación por etapas que consideran un aumento gradual de la concentración de colorante. En la fig. 1 se muestra la eficiencia de la decoloración del colorante Negro Reactivo 5 (NR) obtenida en cada etapa. Los resultados mostraron que se alcanzó un máximo de decoloración en la etapa III para el soporte de Campincerán, Palo Morado y Tezontle de 86.34%, 84.96% y 84.89 %, respectivamente. Sin embargo, el soporte que mostró un mejor porcentaje de decoloración a través del tiempo fue Palo Morado con un promedio de 66% de decoloración y una generación de biomasa libre menor comparado con los otros dos soportes.

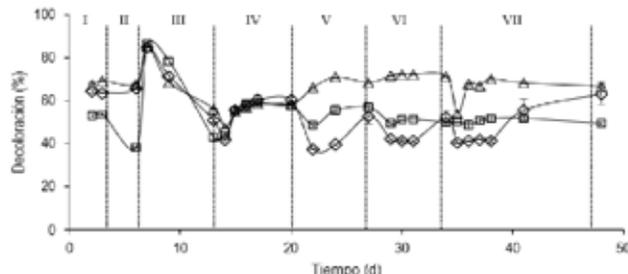


Figura 1. Degradación de colorante NR5 por biomasa inmovilizada en Tezontle (◇), Palo Morado (△) y Campincerán (□).

### Conclusiones y perspectivas.

El presente estudio mostró que la degradación del colorante NR5 mediante *Halomonas* sp. inmovilizada en Palo Morado presentó el mejor rendimiento a través del tiempo. La cepa inmovilizada se adaptó rápidamente al soporte forestal, así como al incremento de concentración de colorante. Considerando la eficiencia de residuos forestales como medio de soporte para *Halomonas* sp. y la eficiencia en la decoloración se plantea investigar el tipo de interacciones soporte-cepa que promueve la decoloración, así como los metabolitos generados tras el tratamiento de los colorantes.

**Agradecimientos.** Este trabajo ha sido realizado con el financiamiento del proyecto SIP-20230639.

**Referencias.** 1) Cervantes, F. J., González-Estrella, J., Márquez, A., Álvarez, L. H., & Arriaga, S. (2011). Immobilized humic substances on an anion exchange resin and their role on the redox biotransformation of contaminants. *Bioresource Technology*, 102(2), 2097–2100. 2) Das, A., & Mishra, S. (2017). Removal of textile dye reactive green-19 using bacterial consortium: Process optimization using response surface methodology and kinetics study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1), 612–627. 3) Montañez-Barragán, B., Sanz-Martín, J. L., Gutiérrez-Macias, P., Morato-Cerro, A., Rodríguez-Vázquez, R., & Barragán-Huerta, B. E. (2020). Azo dyes decolorization under high alkalinity and salinity conditions by *Halomonas* sp. in batch and packed bed reactor. *Extremophiles*, 24(2), 239–247.

## ESTUDIO FUNCIONAL DE PROPIEDADES BIOACTIVAS DE EXTRACTOS DE SETAS

Rosalía Juárez Atonal, Martha Dolores Bibbins Martínez\*, Sergio Rosales Mendoza

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada

mbibbinsm@ipn.mx

Palabras clave: hongos, polisacáridos,  $\beta$ -glucanos, actividad inmunomoduladora

**Introducción.** Los hongos han sido utilizados desde épocas ancestrales como alimento y/o medicamentos en todo el mundo, se ha demostrado que son alimentos saludables, bajos en calorías y altos en otros nutrientes como proteínas, vitaminas y minerales, además de contener fibra (1). El valor funcional y medicinal de los compuestos bioactivos encontrados en los hongos comestibles y medicinales incluye una gran diversidad de propiedades, entre ellas, antitumoral, inmunopotenciadora, hepatoprotectora, antioxidante, antiviral, antifúngica, antibacteriana, entre otras (2). Dentro de los principales compuestos bioactivos identificados se encuentran; polisacáridos de alto peso molecular ( $\alpha$ -glucanos,  $\beta$ -glucanos), heteroglicanos, proteoglicanos, polisacaropéptidos, glicoproteínas, polifenoles, terpenoides y lectinas, entre otros. Las propiedades antioxidantes de los hongos son atribuidas a su contenido de compuestos fenólicos. Los polisacáridos además de su potencial como antioxidantes también han sido estudiados en su capacidad de inmunopotenciadoras. Numerosos ensayos in vivo e in vitro han demostrado que los polisacáridos aislados de las setas y el micelio de hongos, tanto comestibles como medicinales, ejercen funciones de inmunomodulación y también presentan actividad antitumoral (3).

**Planteamiento del problema.** México es un país con una gran biodiversidad micológica. Las setas han sido reconocidas como fuentes de compuestos bioactivos con diferentes propiedades, entre ellas antioxidantes, antiinflamatorias o antimicrobianas. Sin embargo, como fuentes de compuestos bioactivos y el desarrollo de productos a base de hongos comestibles o medicinales, es aún incipiente y se requiere no sólo de la innovación en el desarrollo de nuevos productos, sino también, de procesos rigurosos en la elaboración y evaluación de las propiedades funcionales reclamadas por los mismos.

### Justificación.

México se encuentra dentro de los primeros 15 productores de hongos comestibles a nivel mundial, y es el principal productor en Latinoamérica produciendo más del 80%. Los hongos comestibles son ampliamente consumidos en el mundo por su excelente sabor, aroma y textura. Por otra parte, su aceptación es también definida por sus propiedades nutricionales y funcionales, constituyendo una excelente alternativa en el consumo de alimentos naturales inocuos y con propiedades benéficas para la salud.

Por lo anterior, las aportaciones de evidencias científicas sólidas (químicas, bioquímicas, genómicas, clínicas, epidemiológicas) que sustenten la importancia de las setas desde el punto de vista funcional de los compuestos bioactivos, son medulares y no sólo garantizarán el éxito de esta industria, sino también la salud del consumidor.

**Objetivo general.** Definir la actividad biológica de extractos de setas endémicas y comerciales.

**Objetivos particulares.** 1. Realizar la caracterización química e identificación de los principales compuestos bioactivos presentes en los extractos de setas comerciales (*Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma*

*lucidum*, *Lentinula edodes*, *Trametes versicolor* e *Hericium erinaceus*) y setas endémicas. 2. Evaluar la actividad antioxidante in vitro de los extractos. 3. Evaluar la citotoxicidad in vitro de los extractos en línea celular HEK293. 4. Evaluar la actividad inmunomoduladora utilizando la línea celular DC2.4.

### Estrategia metodológica



Figura 1. Esquema de trabajo para el estudio del potencial bioactivo de setas comerciales y endémicas.

**Resultados esperados.** Primeramente, se desea conseguir la caracterización química (valor nutricional y compuestos bioactivos) de todas las setas. Posteriormente, en su potencial bioactivo se conseguirá evaluar la actividad antimicrobiana y antioxidante. Finalmente, se espera la evaluación de la actividad citotóxica y la actividad inmunomoduladora.

### Referencias.

- Murphy, E. J., Masterson, C., Rezoagli, E., O'Toole, D., Major, I., Stack, G. D., Lynch, M., Laffey, J. G., & Rowan, N. J. (2020).  $\beta$ -Glucan extracts from the same edible shiitake mushroom *Lentinula edodes* produce differential in-vitro immunomodulatory and pulmonary cytoprotective effects - Implications for coronavirus disease (COVID-19) immunotherapies. *The Science of the total environment*, 732, 139330. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139330>
- Bhambri A, Srivastava M, Mahale VG, Mahale S and Kam SK (2022) Mushrooms as Potential Sources of Active Metabolites and Medicines. *Front. Microbiol.* 13:837266. doi: 10.3389/fmicb.2022.837266
- Zhao, Shuang, Qi Gao, Chengbo Rong, Shouxian Wang, Zhekun Zhao, Yu Liu, and Jianping Xu. (2020). "Immunomodulatory Effects of Edible and Medicinal Mushrooms and Their Bioactive Immunoregulatory Products" *Journal of Fungi* 6, no. 4: 269. <https://doi.org/10.3390/jof6040269>

## COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE LA HARINA DE CHAPULINES (*SPHENARIUM PURPURASCENS*) ALIMENTADOS CON DIFERENTES CULTIVOS EN TLAXCALA

Saúl Reyes Farfán, Silvia Luna Suárez, Marlon Rojas López\*.

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada.

[mrojas@ipn.mx](mailto:mrojas@ipn.mx)

*Palabras clave:* Harina de chapulín, composición nutricional, cultivos

### Introducción.

La entomofagia, práctica de consumir insectos, es tradición en varias culturas, incluida México, donde se consumen al menos 549 especies comestibles. Este interés resurge por la necesidad de fuentes alimentarias sostenibles. Los chapulines (*Sphenarium purpurascens*) son valorados por su rica composición nutricional. La harina de chapulín, obtenida por deshidratación y molienda, es una fuente proteica de alta calidad, comparable a las carnes tradicionales. Factores ambientales influyen en su composición nutricional, y en localidades como Españaita, Tlaxcala, es esencial entender cómo los cultivos afectan sus propiedades. La producción de insectos comestibles tiene ventajas sobre la ganadería tradicional, ya que requiere menos recursos y produce menos gases de efecto invernadero.

### Planteamiento del problema.

La calidad nutricional de la harina de chapulín (*Sphenarium purpurascens*) está influenciada por el tipo de cultivo donde se recolectan los insectos. En Españaita, Tlaxcala, es crucial comprender cómo estas variaciones afectan la composición de la harina. Sin embargo, hasta ahora no se ha explorado adecuadamente este aspecto, lo que limita la optimización de su producción.

### Justificación.

La entomofagia presenta una alternativa viable y ecológica frente a la ganadería tradicional. En México, los chapulines representan una fuente significativa de proteínas y otros nutrientes esenciales. Al entender cómo los cultivos específicos influyen en las propiedades nutricionales de la harina de chapulín, se pueden aprovechar sus beneficios para la salud y la sostenibilidad.

### Objetivo general.

Evaluar la influencia de diferentes cultivos en Tlaxcala, sobre las propiedades nutricionales, fisicoquímicas, funcionales y nutraceuticas de la harina de chapulín (*Sphenarium purpurascens*).

### Objetivos particulares.

Analizar el efecto de tres cultivos en diferentes años y lotes de recolección sobre las propiedades nutricionales y nutraceuticas de la harina de chapulín recolectado en campo abierto.

Evaluar la influencia de cuatro estadios de crecimiento en las propiedades nutricionales y nutraceuticas de una harina de chapulines alimentados con dos cultivos diferentes de diferentes años.

Determinar el impacto de la alimentación con tres cultivos distintos y cuatro estadios de crecimiento en las propiedades nutricionales y nutraceuticas en harina de chapulines criados en condiciones controladas.

**Estrategia metodológica.** (A) Obtención de las muestras. (B) Perfil de lípidos. (C) Análisis de composición nutricional. (D) Perfil de proteínas. (E) Perfil mineral. (F) Propiedades fisicoquímicas. Propiedades tecno funcionales. Identificación y cuantificación de pigmentos. (G) Análisis

de la estructura molecular. (H) Interpretación de resultados. Validación de resultados.



Figura 1. Metodología propuesta

### Resultados esperados.

Se espera que el estudio revele variaciones significativas en la composición nutricional de la harina de chapulín según el tipo de cultivo en el que se recolectaron los insectos. Estas diferencias podrían manifestarse en aspectos como el contenido de proteínas, lípidos, minerales y pigmentos, lo cual proporcionaría una comprensión más detallada de cómo los factores ambientales y agrícolas específicos de cada cultivo impactan la calidad de la harina. También se anticipa que las técnicas espectroscópicas, como la espectroscopia UV-Vis y FTIR, aporten información precisa sobre el perfil de pigmentos y la estructura molecular de la harina, lo que permitirá establecer correlaciones entre los cultivos y las propiedades nutricionales. En última instancia, estos resultados podrían guiar la selección de cultivos específicos para mejorar la calidad de la harina de chapulín, optimizando así su uso en alimentos y promoviendo su producción como una fuente sostenible de nutrición en la región.

### Referencias.

Agencia de Noticias Ambientales (ANA). "Informe sobre la Producción de Harina de Grillo en México". 2023. Ramos-Elorduy, J. (1997). Importance of edible insects in the nutrition and economy of people of the rural areas of Mexico. *Ecology of Food and Nutrition*, 36 (1): 347-366.

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

Shaila Nayeli Pérez Salinas, Yolanda Herrera Arrieta\*, Liliana Wallander Compeán, Marlón Rojas López, Hugo Manuel Monreal García, Rene Torres Ricario

Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Durango

yherrera@ipn.mx

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. Los compuestos de los agaves que sirven para elaborar mezcal son conocidos como fructanos. En el estado de Durango, el *Agave durangensis* se encuentra ampliamente distribuido (1), el cual es una fuente importante de fructanos. Por lo tanto, el presente trabajo pretende evaluar los cambios acumulativos, estructurales y funcionales en *Agave durangensis* en diferentes etapas de crecimiento de la planta.

**Metodología.** Se procesaron 200g de corazón de *Agave durangensis* de 2, 5, 8 y 15 años, en proporción 1:10. La extracción de fructanos se realizó mediante el método de ultrasonificación. El extracto obtenido permitió evaluar diferencias acumulativas con métodos espectrofotométricos y su funcionalidad.

**Resultados y discusión.** Extracción de carbohidratos de *Agave durangensis* de diferentes edades mediante el método de ultrasonificación.

Tabla 1. Rendimiento obtenido de carbohidratos de *Agave durangensis* en muestras de plantas de diferentes edades.

Muestra	Sólido/líquido	g de extracto obtenidos	Rendimiento (%)
2 años	1:10	1.34 ± 0.070	6.7
5 años	1:10	2.62 ± 0.035	22.6
8 años	1:10	4.54 ± 1.41	22.7
15 años	1:10	11.48 ± 2.12	57.4

Resultados obtenidos de carbohidratos solubles y carbohidratos reductores.

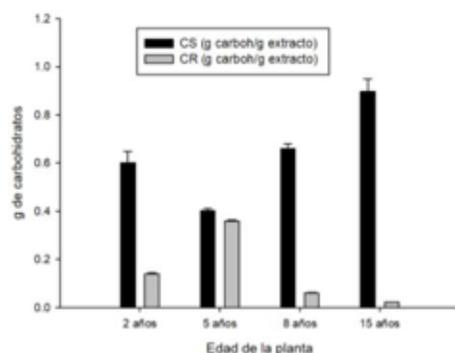


Figura 1. Concentración de carbohidratos solubles y carbohidratos reductores de plantas de *Agave durangensis* de diferentes edades

### Espectroscopia infrarroja (FTIR)

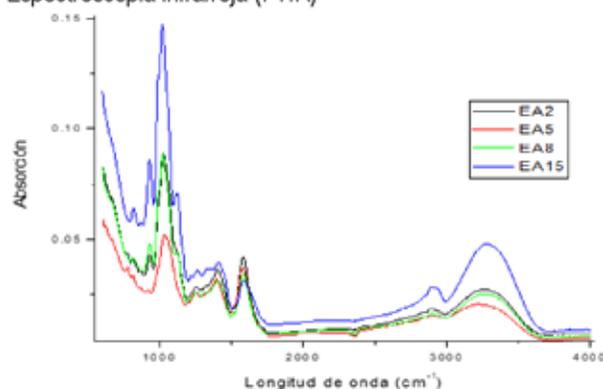


Figura 1. Espectro FTIR de extracto de *Agave durangensis*

**Conclusiones y perspectivas.** Los rendimientos de extracción promedio de fructanos con respecto a los carbohidratos solubles van desde 76%, 10%, 90% y 97% para plantas de 2, 5, 8 y 15 años respectivamente, lo cual coincide a los rendimientos reportados por otros autores (2) que van desde 85% hasta 89.7% de rendimiento para plantas de *Agave tequilana* entre 10 y 12 años. El Espectro infrarrojo de la transformada de Fourier (FTIR) muestra las bandas que corresponden a la longitud de onda de los carbohidratos que va entre los 900 y 1200  $\text{cm}^{-1}$ , dichas bandas corresponden a la maltosa y la glucosa, lo cual coincide con lo reportado (3). La intensidad de la banda indica mayor concentración de estos carbohidratos resultando la menor concentración en la muestra de 5 años, lo cual coincide con el rendimiento obtenido en la extracción de fructanos. Esto se puede deber a cambios que ocurren en el ciclo biológico de la planta, que le ocasionan fluctuaciones en la reducción total del contenido de azúcares (4).

**Agradecimientos.** CONAHCYT por la beca otorgada y al IPN por el apoyo del proyecto multidisciplinario SIP-2280.

### Referencias.

- Almaraz-Abarca, N. y col. (2009) Profiling of phenolic compounds of somatic and reproductive tissues of *Agave durangensis* Gentry (Agavaceae) *American Journal of Applied Sciences*, 6(6): 1076–1085.
- Aldrete-Herrera, P. y col. (2019). Physicochemical composition and apparent degree of polymerization of fructans in five wild agave varieties: potential industrial use. *Foods*, 8(9): 7-11.
- Mellado-Mojica, E. y col. (2009) Developmental variation in *Agave tequilana* Weber var. azul stem carbohydrates. *Dyn. Biochem. Biotechnol. Mol. Biol.* 3: 34–39.
- Sánchez-Madrigal, M. y col. (2017). Ultrasound-assisted extraction of fructans from agave (*Agave tequilana* Weber var. Azul) *Food Science & Technology*, 37:261–268.

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

Sofía Lizeth De Casas Reyes, Isaías Chairez Hernández \*, Miguel Ángel Soto Cárdenas.

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango

ichairez@hotmail.com

Palabras clave: sensores de calidad del aire, contaminación atmosférica, bioaerosoles.

**Introducción.** La calidad del aire es un factor crucial que afecta la salud y el bienestar de las poblaciones urbanas. Los contaminantes criterio, como PM10, PM2.5, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, son esenciales para evaluar la calidad del aire y tienen un impacto directo en la salud pública y el medio ambiente (1). El monitoreo de estos contaminantes en la ciudad de Durango se ha realizado mediante estaciones fijas, las cuales a menudo presentan fallas, lo que limita la capacidad de obtener datos continuos y confiables, resaltando la necesidad de encontrar alternativas para mejorar la vigilancia de la calidad del aire en la ciudad. En este sentido, el uso de sensores de bajo costo ofrece una visión más dinámica de las concentraciones de contaminantes (2), permitiendo una evaluación más precisa de las áreas de alta exposición. Además, se explorará la capacidad de ciertas plantas e insectos como bioindicadores, ya que su sensibilidad a los contaminantes puede reflejar la presencia y concentración de sustancias tóxicas, como los metales pesados en el entorno (3). También se considerarán a los bioaerosoles, los cuales son partículas suspendidas de origen biológico, específicamente a las bacterias, cuya presencia y concentración pueden indicar la carga de contaminantes en el aire y su impacto potencial en la salud pública (4). Con base en lo anterior, se abordará la problemática de la medición de la contaminación del aire en la ciudad de Durango a través de un enfoque multidisciplinario empleando sensores de bajo costo, bioindicadores y bioaerosoles para comprender la dinámica temporal de los contaminantes atmosféricos.

**Metodología.** Primeramente, se construirá una estación de monitoreo de contaminantes criterio con sensores de bajo costo. Una vez construida, se realizarán los monitoreos y simultáneamente se tomarán muestras para cuantificar la acumulación de contaminantes, específicamente de metales pesados en el follaje del trueno y en hormigas y también se tomarán muestras para identificar y caracterizar las especies bacterianas presentes en el aire mediante observaciones morfológicas en todas las muestras y en muestras representativas por estación del año se emplearán técnicas moleculares para la identificación de especies (PCR y secuenciación del Gen 16S rRNA). La frecuencia de los muestreos y monitoreo será de dos veces por semana durante diez meses en dos sitios de la ciudad.

**Resultados y discusión.** Se construyó una estación de monitoreo de contaminantes criterio empleando sensores de bajo costo y una placa de desarrollo Arduino como se muestra en el cuadro 1. La configuración de software se realizó en Arduino Cloud, una plataforma en línea que permite crear y controlar remotamente proyectos usando dispositivos Arduino en la que se estableció un enlace entre la estación de monitoreo y la nube que permite registrar y observar las concentraciones medidas en tiempo real.

Cuadro 1. Principales componentes de la estación de monitoreo de contaminantes criterio con sensores de bajo costo

Estación de monitoreo	Sensor (nombre comercial)	Lo que mide:
	PMS5003	Material particulado PM10 y PM2.5
	MQ131	Ozono (O <sub>3</sub> )
	MQ136	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )
	MQ7	Monóxido de carbono (CO)
	MQ135	Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )
	BAE280	Humedad y temperatura

Posteriormente se realizaron pruebas para observar su funcionamiento durante varias semanas y se hicieron mediciones simultáneamente con equipos certificados registrando datos similares.

Actualmente se está comenzando a trabajar con la estandarización del protocolo para muestreo y análisis de las muestras de bioindicadores (hormigas y follaje del trueno) y bioaerosoles (bacterias) así como en la preparación de equipo y adquisición de reactivos necesarios para llevarlo a cabo.

**Conclusiones y perspectivas.** La estación de monitoreo de contaminantes criterio construida con sensores de calidad del aire de bajo costo se encuentra funcionando y proporcionando datos confiables hasta el momento. La conexión entre la estación y la nube presenta la información de forma gráfica y amigable, así como la facilidad de descarga de los datos registrados durante las pruebas de funcionamiento. Se espera en próximas fechas iniciar el muestreo de bioindicadores y bioaerosoles a la par con la estación de monitoreo para recopilar datos y realizar análisis estadístico que permita identificar patrones de concentración, estacionalidad, etc. a lo largo del tiempo.

### Referencias.

- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Rev. Esp. Salud Pública*, 73(2), 123-132.
- García Navarrete, G., & R. S. (2019). Sensores de bajo costo para el monitoreo de calidad del aire. *Epistemos*, 13(17), 31-37.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2010). Manual 1. Principios de la medición de la Calidad del aire.
- Maldonado Vega, M., Peña Cabriales, J. J., de Los Santos Villalobos, S., Castellanos Arévalo, A. P., Camarena Pozos, D., Arévalo Rivas, B., Valdés Santiago, L., Hernández Valadez, L. J., & Guzmán de Peña, D. L. (2014). Bioaerosoles y evaluación de la calidad del aire en dos centros hospitalarios ubicados en León, Guanajuato, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 30(4), 351-363.

# FORMULACIÓN DE NANOEMULSIONES DE EXTRACTOS DE RESIDUOS FORESTALES PARA EL CONTROL DE FITOPATÓGENOS DEL CULTIVO DE MAÍZ

Teresa Guadalupe Vargas Mendieta, \*Blanca Estela Barragán Huerta, \*Paulina Gutiérrez Macías

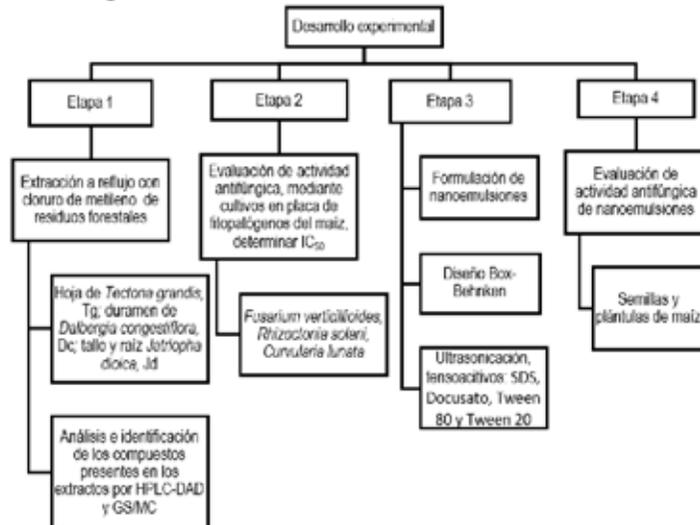
Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Laboratorio de Residuos Peligrosos, Departamento de ISA

\*[bbarraga59@yahoo.com](mailto:bbarraga59@yahoo.com), \*[pgutierrezm.ipn@gmail.com](mailto:pgutierrezm.ipn@gmail.com)

Palabras clave: Nanoemulsiones, *Tectona grandis*, *Dalbergia congestiflora*, *Jatropha dioica*, fitopatógenos

**Introducción.** El ataque de patógenos o plagas a cultivos primarios como el maíz es una de las principales problemáticas en el sector agrícola, que ocasiona pérdidas de hasta el 50% de los cultivos, por lo que representa una amenaza para la seguridad alimentaria de millones de personas. Actualmente, su control se realiza por medio de plaguicidas sintéticos, que generan: problemáticas ambientales, intoxicación en seres humanos y resistencia de los microorganismos patógenos(4). Entre las soluciones propuestas se busca el desarrollo de estrategias biotecnológicas que representen una opción segura y sustentable, tal como las formulaciones a base de extractos naturales con actividad antimicrobiana (2). En el presente trabajo se propone el desarrollo de nanoformulaciones con un amplio espectro de actividad antifúngica mediante la incorporación de extractos provenientes de residuos forestales. Además, con la valorización de los residuos forestales se busca evitar su desecho. Con esta tecnología se busca beneficiar a los productores al disminuir la pérdida de cultivos, a los consumidores al aumentar la seguridad alimentaria y al ambiente, al mitigar el daño a los factores bióticos y abióticos.

## Metodología.



**Resultados y discusión.** Se obtuvo un rendimiento del  $15.18 \pm 0.33\%$  de extracto de *D. congestiflora*, y de  $5.38 \pm 0.05\%$  para *T. grandis*. Los dos extractos alcanzaron porcentajes de inhibición de  $43 \pm 1.41\%$  contra *C. lunata* y *F. verticillioides* y de hasta un  $100 \pm 0\%$  en *R. solani*. Mientras que para *J. dioica* (raíz) de un  $53 \pm 1.41\%$  para *C. lunata*. En la Figura 1, se observa la gráfica representativa de resultados de inhibición con el extracto de *D. congestiflora*. Para el análisis cromatográfico, se obtuvo un perfil general de la cantidad y tipo de compuestos que se encuentran en cada extracto. En el caso de *D. congestiflora*, destaca el compuesto con tiempo de retención a 35.06

min (Fig. 2), el cual coincide con la metoxidalbergiona reportado por de la Cruz, 2018 (1); este compuesto muestra una alta capacidad antibacteriana y antifúngica.

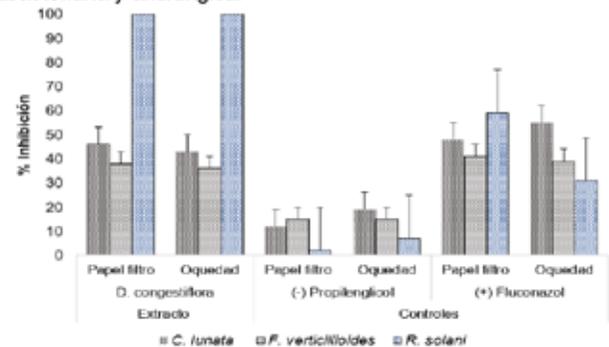


Figura 1. Actividad antifúngica del extracto del duramen de *D. congestiflora* sobre cepas fitopatógenas utilizando dos formas de inoculación

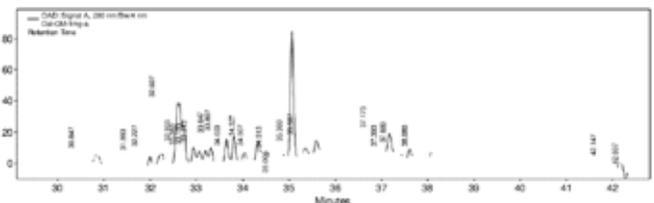


Figura 2. Cromatograma del extracto obtenido con cloruro de metileno de *D. congestiflora* por HPLC-DAD a 280 nm

**Conclusiones y perspectivas.** Para *F. verticillioides* y *R. solani* el mayor grado de inhibición se obtuvo con los extractos de Dc y Tg, mientras que para *C. lunata* fue con el extracto de Jd (Raíz). La banda presente en la cromatografía obtenida por HPLC de Dc, 35.06 min corresponde al compuesto de metoxidalbergiona. Para el resto de los extractos es necesario estudiar a qué compuestos corresponden cada una de las bandas presentes. Se plantea que con la formulación de las nanoemulsiones la actividad antifúngica de los extractos aumente.

**Agradecimientos.** A la Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos celulares (CINVESTAV) por facilitar la adquisición de las cepas CDBB-H-1138 y CDBB-H-261.

## Referencias.

- De la Cruz-Pino, MC. (2018). Evaluación de la actividad contra microorganismos fitopatógenos del extracto etanólico de *Dalbergia congestiflora* y su aplicación en recubrimientos alimenticios. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN
- Mishra, P; Tyagi, BK, Mukherjee, A; Chandrasekaran, N. 2019. Potential application of nanopesticides to pest control in the food and agriculture sector. 493-509. En: CRC Press. Food Applications of Nanotechnology. EUA.
- Téllez-Díaz, AY. (2010). "Solubilización y estabilidad de las microemulsiones del colorante natural Neocandona". ENCB, IPN.
- Villavicencio-Nieto, MA; Pérez-Escandón BA; Gordillo-Martínez AJ. 2010. "Plantas tradicionalmente usadas como plaguicidas en estado de Hidalgo, México". *Polibotánica*, 30: 193-238.

## ANTIMICROBIAL RESISTANCE, CHARACTERIZATION, AND MOLECULAR ANALYSIS OF ESKAPE GROUP STRAINS FROM THE HYDROLOGIC SUBREGION OF RIO SOTO LA MARINA, TAMAULIPAS

Tunde Olarinde Olaniyan, Cesar Marcial Escobedo Bonilla, Ana Verónica Martínez Vázquez, Virgilio Bocanegra-García\*

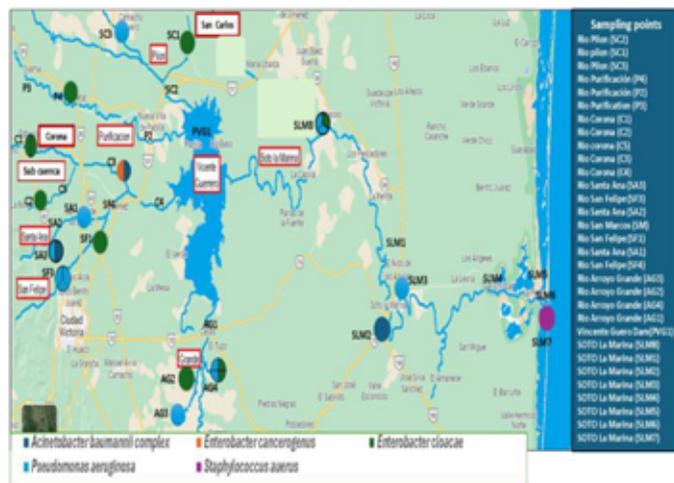
+528991606446 [vbocanegra@ipn.mx](mailto:vbocanegra@ipn.mx)

**Keywords:** ESKAPE, Pathogen, Antimicrobial resistance, resistant gene

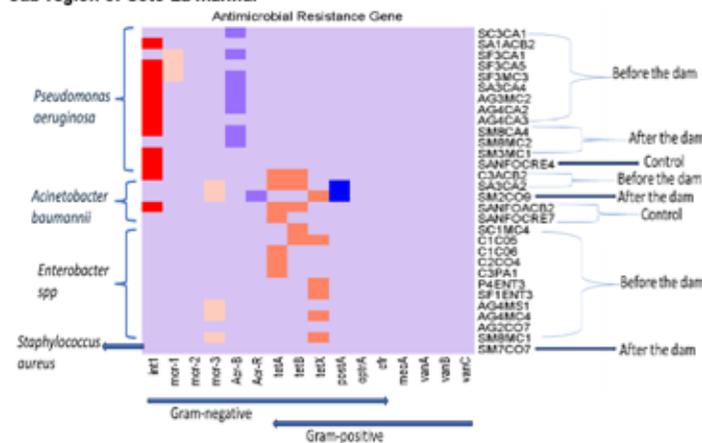
**Introduction:** The Word ESKAPE is an acronym that includes six nosocomial pathogens that exhibit multidrug resistance and virulence: *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Enterobacter* spp (1). ESKAPE pathogens have become essential in recent times because of their role in nosocomial infections (2). The mechanisms of resistance in ESKAPE have been grouped into three, which include drug inactivation, modification of target site, and reduced absorption of drugs (3). ESKAPE strains are both clinically and environmentally relevant as they have been recovered from both the hospital wards and, recently, the communities(4,5). The Rio Soto La Marina Hydrological Subregion is in Northeast Mexico and includes part of the states of Nuevo León and Tamaulipas and ends at the Soto la Marina River basin, which drains into the Gulf of Mexico (6). As a result of the anthropogenic activities (agriculture and recreational) around the hydrological sub-region of Soto la Marina, it is possible to deduce that rivers around Rio Soto Marina may be a potential reservoir for multidrug-resistant bacteria, including members of the ESKAPE family. This research aims to identify and characterize the ESKAPE pathogen population, resistance behavior, and antimicrobial-resistant genes associated with recovered ESKAPE bacteria in the hydrologic subregion of Rio Soto marina water bodies.

**Methodology:** Thirty-one water samples were collected aseptically from different sampling points in the Rivers and Dam in the Soto La Marina sub-hydrologic water system. Five physicochemical parameters were analyzed, including pH, Dissolved Oxygen, Nitrate, Phosphate, and Chromium hexavalent (Cr<sup>6+</sup>). All analyses followed the standard method (7). The water sample was serially diluted up to the factor of 10<sup>-8</sup>, and each factor from 10<sup>-1</sup>–10<sup>-8</sup> was plated in appropriate differential and selective media (CHROMagar orientation, CHROMagar VRE, CHROMagar Acinetobacter, CHROMagar extended-spectrum beta-lactamase (ESBL), MacConkey agar, Bile Esculin Agar, and Mannitol salt agar) using the spread plate technique for the recovery of ESKAPE from water samples. Isolation of colonies and species-level identification includes Gram staining and biochemical profiling using VITEK MS (BIOMERIEUX). Antimicrobial Susceptibility Testing was also determined with VITEK 2 and the diffusion disc method (Kirby-Bauer) on Mueller–Hinton agar. DNA was extracted using the heat lysis protocol, and antimicrobial-resistant genes were identified with PCR.

**Result and discussion:** Do, pH, phosphate, nitrate, and Cr<sup>6+</sup> were within the WHO values, except for the San Felipe and Corona phosphate levels. Thirty (30) ESKAPE pathogens (*Staphylococcus aureus* (3%); *Acinetobacter baumannii* complex (17%); *Pseudomonas aeruginosa* (43%); *Enterobacter* spp (37%) were detected in this study as shown on fig 1. Integron (*int1*), tetracycline (*tetA*, *tetB*, *tetX*) Colistin (*mcr-1*, *mcr-3*), Ciprofloxacin (*acrB*, *acr-R*) and linezolid (*poxtA*) resistant harboring gene strains in extra-hospital settings are described in fig 2.



**Figure 1:** Geographical distribution of ESKAPE bacterial species in the hydrologic sub-region of Soto La marina.



**Figure 2:** Antimicrobial resistant genes recovered from ESKAPE pathogen

**Conclusion and perspective:** Few ESKAPE pathogens were recovered in the water bodies around Rio Soto la Marina. However, the recovery of some ESKAPE pathogens and important resistant genes from the screened rivers suggests the potential health risk of these rivers if people with compromised immunity consume their water or fish.

### References

1. Rice LB.2008. Federal funding for studying antimicrobial resistance in nosocomial pathogens: No ESKAPE. Vol. 197, *Journal of Infectious Diseases.*, 197 (8), pp. 1079-1081.
2. Founou RC, Founou LL, Essack SY.2017. Clinical and economic impact of antibiotic resistance in developing countries: A systematic review and meta-analysis. Vol. 12, *PLoS ONE.*, 12, e0189621
3. Santajit S, Indrawattana N. 2016. Mechanisms of Antimicrobial Resistance in ESKAPE Pathogens. Vol. 2016, *BioMed Research International.* 2475067.



Centro de Investigación en  
Biotecnología Aplicada

Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera  
Estatal Tecuexcomac - Tepetitla K. 1.5,  
Tlaxcala, C.P. 90700, México  
[www.cibatlaxcala.ipn.mx](http://www.cibatlaxcala.ipn.mx)