



FRONTERA BIOTECNOLÓGICA

ISSN: 2448-8461



Revista Digital del IPN, CIBA Tlaxcala - No. 26 septiembre - diciembre 2023

ACEITES ESENCIALES Y SU
POTENCIAL ANTIDIABÉTICO

TRICHODERMA: EL SIMBIONTE OPORTUNISTA DE
LAS PLANTAS CON MULTITALENTOS BENÉFICOS

SARGAZO: PROBLEMÁTICA Y OPORTUNIDADES DE
APROVECHAMIENTO

FITORREMEDIACIÓN DE METALES
PESADOS EN AMBIENTES
CONTAMINADOS: UNA REVISIÓN.

MEMORIAS DE LA XXVI JORNADAS ACADÉMICAS
DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN
BIOTECNOLOGÍA-IPN



DIRECTORIO INSTITUCIONAL

IPN

ARTURO REYES SANDOVAL
DIRECTOR GENERAL

CARLOS RUIZ CÁRDENAS
SECRETARIO GENERAL

MAURICIO IGOR JASSO ZARANDA
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

MARÍA DE LOS ÁNGELES JASSO CISNEROS
ABOGADA GENERAL

MODESTO CÁRDENAS GARCÍA
PRESIDENTE DEL DECANATO

CIBA IPN

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

GONZALO PÉREZ ARAIZA
SOPORTE TÉCNICO

PEDRO RAMÍREZ CALVA
DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN FRONTERA BIOTECNOLÓGICA

ISMAEL SÁNCHEZ GONZÁLEZ
DESARROLLO WEB

LILIA ESPINDOLA RIVERA
COORDINADORA ADMINISTRATIVA

CINTILLO LEGAL

FRONTERA BIOTECNOLÓGICA, año 11, número 26, septiembre - diciembre 2023, 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. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 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, 04 de diciembre de 2023.

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

MENSAJE EDITORIAL 3

ACEITES ESENCIALES Y SU POTENCIAL
ANTIDIABÉTICO 4

TRICHODERMA: EL SIMBIONTE OPORTUNISTA DE
LAS PLANTAS CON MULTITALENTO BENÉFICO 8

SARGAZO: PROBLEMÁTICA Y OPORTUNIDADES DE
APROVECHAMIENTO 13

FITORREMEDIACIÓN DE METALES PESADOS EN
AMBIENTES CONTAMINADOS: UNA REVISIÓN. 18

MEMORIAS DE LA XXVI JORNADAS ACADÉMICAS
DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN
BIOTECNOLOGÍA-IPN 25

MENSAJE EDITORIAL

Diciembre 2023

Mensaje Editorial

Después de tres años de dificultades ocasionadas por el virus SARS-CoV2, en este 2023, nos pareció que todo quedó en los recuerdos, y son estos recuerdos de quienes se nos adelantaron por la enfermedad que nunca se olvidará. Reciban las mejores vibras por esta época del año, y reciban una felicitación adelantada por el 2024, que sea lleno de éxitos.

En este número nos encontraremos con temas de interés para todos. Primeramente, conoceremos que existen aceites esenciales obtenidos de naranja, limón, orégano y jengibre son capaces de inhibir enzimas digestivas y pancreáticas, lo cual pueden ayudarnos al tratamiento de la diabetes, mal que aqueja a tantos mexicanos, esto nos puede permitir a crear terapias alternativas contra esa devastadora enfermedad partir de compuestos naturales. Dando un giro, entenderemos que el sargazo en lugar de ser un problema que aqueja a nuestras bellas playas mexicanas se puede convertir en materia prima para la obtención de compuestos activos generando beneficios económicos y ambientales. Por otro lado, conoceremos al género *Trichoderma*, el cual tiene varios talentos y aplicaciones, siendo capaces de formar simbiosis con plantas, ayudándoles a defenderse contra patógenos, a consumir nutrientes, les proporcionan protección contra otros hongos, las hace crecer fuertes y vigorosas siendo un biofertilizante exitoso. Adicionalmente, hablando de plantas, conoceremos que la fitorremediación nos ayuda a reducir metales pesados en ambientes contaminados, su aplicación es en el lugar contaminado, permitiendo ser una técnica que puede ser factible en la remoción de dichos elementos.

Para finalizar, en una sección especial conoceremos el trabajo de 51 investigadoras e investigadores, estudiantes talentosos que del 18 al 20 de octubre presentaron sus avances en el marco de las XXVI Jornadas Académicas del Doctorado en Ciencias en Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional, todos ellos con la encomienda de poner...

“La Técnica al Servicio de la Patria”

Dr. Víctor Eric López y López

Editor en Jefe



ACEITES ESENCIALES Y SU POTENCIAL ANTIDIABÉTICO

Dolores Guadalupe Aguila-Muñoz¹, Fabiola Eloísa Jiménez-Montejo¹, María del Carmen Cruz-López¹,
Aarón Mendieta-Moctezuma^{1*}

¹ Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Carretera Estatal
Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla, Km 1.5, Tepetitla de Lardizábal, 90700, Tlaxcala, México
Correo electrónico: amendietam@ipn.mx

RESUMEN

Los aceites esenciales (AE) se caracterizan por sus aplicaciones en alimentos y en la medicina tradicional. Se obtuvieron por arrastre de vapor los AE de naranja (pericarpio), limón (pericarpio), orégano (hojas frescas) y jengibre (rizoma), y se ensayó su potencial antidiabético y antiobesidad al inhibir las enzimas digestivas α -glucosidasa y lipasa pancreática. Los ensayos muestran que los AE son buenos inhibidores sobre α -glucosidasa, siendo el AE de limón con mayor actividad con CI50 de 73.9 $\mu\text{g/mL}$ con respecto a acarbose (CI50 = 167.6 $\mu\text{g/mL}$). Además, mostraron un efecto inhibitorio moderado sobre la lipasa pancreática. Estos resultados muestran que los AE presentan potencial terapéutico en el tratamiento de diabetes.

Palabras clave: Diabetes, obesidad, α -glucosidasa, lipasa pancreática, aceites esenciales

ABSTRACT

Essential oils (EO) are characterized by their applications in food and traditional medicine. Conventional steam distillation was applied for the recovery of essential oils from orange (pericarp), lemon (pericarp), oregano (fresh leaves), and ginger (rhizome), and assessed their antidiabetic and anti-obesity potential inhibiting the digestive enzymes α -glucosidase, α -amylase. The results showed that EO are good inhibitors against α -glucosidase, where lemon EO displayed higher activity with IC50 of 73.9 $\mu\text{g/mL}$ compared to acarbose (IC50 = 167.6 $\mu\text{g/mL}$). In addition, they showed a slight inhibitory effect on pancreatic lipase. These results demonstrate that these OE have therapeutic potential in the treatment of diabetes mellitus.

Keywords: Diabetes, obesity, α -glucosidase, pancreatic lipase, essential oils

1. INTRODUCCIÓN

En México, las plantas aromáticas y medicinales tienen una aplicación importante en la gastronomía mexicana, así como en la medicina tradicional ya que contienen sustancias con propiedades aromáticas, gastronómicas y terapéuticas (Juárez-Rosete et al. 2013; Escandón-Rivera et al. 2020; Bautista-Hernández et al. 2021). Las plantas aromáticas contienen AE, los cuales son fracciones líquidas volátiles compuestos principalmente de terpenos alifáticos y cíclicos. Estos se pueden extraer mediante arrastre de vapor a partir de diversas partes de la planta (hoja, semilla, flor, raíz y pericarpio de frutos) y debido a su baja o nula toxicidad son considerados como sustancias seguras (GRAS) teniendo aplicaciones en la industria de alimentos, cosmética y aromaterapia (Tripathi et al. 2016).

Si bien la composición química y actividad biológica de los AE influye de acuerdo con varios factores: quimiotipo, condiciones ecológicas, climáticas y agronómicas, método de extracción y material vegetal o seco, estos exhiben interesantes propiedades biológicas tales como antioxidantes, antisépticos, espasmolíticos, sedantes, citotóxicos, anti-inflamatorios y analgésicos, convirtiéndolos en candidatos prometedores como una alternativa en el tratamiento de enfermedades de impacto en la salud humana (Pino 2015; Calvo-Irabián 2018; Bautista-Hernández et al. 2021). De acuerdo con INEGI (2023), las enfermedades crónico-degenerativas son las principales causas de mortalidad en nuestro país, siendo la diabetes mellitus tipo 2 (DM2) la segunda causa. La DM2 es una enfermedad que se caracteriza por los elevados niveles de glucosa en sangre, asociado a la deficiencia de insulina afectando al corazón, ojos y riñones. Los principales factores de riesgo para DM2 son la obesidad, sedentarismo y factor genético (Basto-Abreu et al. 2022). La obesidad es considerada una enfermedad crónica y factor de riesgo en la diabetes mellitus, resultado de la acumulación excesiva de grasa en el tejido adiposo, lo cual puede generar complicaciones como enfermedades cardiovasculares, artrosis, hipercolesterolemia y cáncer (Holmbäck et al. 2022). En farmacoterapia, se emplean fármacos que reducen los niveles de glucosa y lípidos en la sangre de los cuales destacan acarbose y orlistat, respectivamente. Estos medicamentos se caracterizan por ser inhibidores de enzimas digestivas tales como α -glucosidasa (acarbose) y lipasa pancreática (orlistat) sin embargo, presentan efectos adversos gastrointestinales, lo cual ha incrementado la demanda de tratamientos alternos generalmente en plantas medicinales que muestren efecto antidiabético y anti-obesidad pero con mínimos o nulos efectos colaterales. El presente trabajo reporta el potencial antidiabético y antiobesidad de los AE de naranja, limón, orégano y jengibre mediante la inhibición de las enzimas digestivas α -glucosidasa y lipasa pancreática (Figura 1).



Figura 1. Obtención y evaluación biológica de aceites esenciales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

α -Glucosidasa (*Saccharomyces cerevisiae*), lipasa pancreática (páncreas de porcino), Desoxicolato de sodio (SDC), carbonato de sodio, acarbose, orlistat. Todos los reactivos químicos empleados fueron grado analítico.

2.2 Material de la planta y extracción del aceite esencial

El jengibre (rizoma) y pericarpio (cáscaras) de naranja y limón se obtuvieron de la central de abastos del estado de Puebla. El orégano (hoja y flor) se obtuvo de Ixtacuixtla, Tlaxcala. Cada material vegetal fresco se destiló por arrastre de vapor obteniendo el correspondiente AE de color amarillo claro (0.5-1.0% p/p) y se almacenó a 0 - 4 °C hasta su uso experimental.

2.3. Efecto inhibitorio in vitro sobre α -glucosidasa

La mezcla con 480 μ L de buffer fosfato (0.1 M, pH 6.9), 40 μ L de AE y 80 μ L de α -glucosidasa (0.5 U/mL) se incubó a 37 °C durante 15 minutos. Se agregó 80 μ L de p-nitrofenil- α -D-glucopiranosido (5 mM) en buffer de reacción e incubó por 15 minutos a 37 °C. Se adicionó 320 μ L de Na₂CO₃ (0.2 M), se midió la absorbancia (405 nm) y determinó el porcentaje de inhibición (Oboh et al. 2017).

2.4. Efecto inhibitorio in vitro sobre lipasa pancreática

La mezcla con 600 μ L de buffer fosfatos (50 mM, pH 8.0, 5 mM de desoxicolato de sodio, 10 mM NaCl), 100 μ L de Lipasa pancreática de porcino (10 mg/mL) y 100 μ L de AE se incubó a 37 °C durante 10 minutos. Después, se añadieron 100 μ L de palmitato de p-nitrofenilo (2 mM) e incubó a 37°C durante 10 minutos, a continuación, se agregó 100 μ L de CaCl₂ (1.0 mM), se midió la absorbancia (400 nm) y determinó el porcentaje de inhibición (Vo et al. 2022).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Inhibición sobre α -glucosidasa

El potencial antihiper glucémico de los AE de naranja, limón, orégano y jengibre se muestran en la Tabla 1, y se reportó mediante la inhibición de la enzima α -glucosidasa, la cual se determinó a partir del valor CI_{50} que es la concentración necesaria del AE para inhibir al 50% la actividad de la enzima. Se emplearon concentraciones de 2.0 μ g/mL – 220 μ g/mL de cada AE. Los resultados obtenidos se compararon con el control positivo (Acarbosa) y se analizaron estadísticamente con el software Minitab en su versión 19 y los valores se presentan como la media desviación estándar basadas en cuatro replicas ($p < 0.05$).

Tabla 1. Efecto inhibitorio de aceites esenciales sobre enzimas digestivas.

Aceite esencial	α -Glucosidasa	Lipasa Pancreática Porcina
	CI_{50} (μ g/mL)	% Inhibición (1 mg/mL)
Naranja	92.38 \pm 0.17	32.64 \pm 1.36
Limón	73.97 \pm 0.64	56.61 \pm 0.78
Orégano	95.79 \pm 0.62	35.18 \pm 0.25
Jengibre	107.41 \pm 0.63	62.68 \pm 0.49
Acarbosa	167.61 \pm 0.41	ND
Orlistat	ND	0.1 \pm 0.005*

Los AE mostraron buen efecto inhibitorio sobre α -glucosidasa con valores de CI_{50} de 73.9 – 107.4 μ g/mL, siendo el AE de limón ($CI_{50} = 73.97 \pm 0.64 \mu$ g/mL) con un efecto inhibitorio 2.2 veces mayor con respecto a acarbosa ($CI_{50} = 167.61 \pm 0.41 \mu$ g/mL). Estos datos coinciden con reportes recientes donde los AE de naranja, limón y orégano presentaron mayor efecto inhibitorio sobre α -glucosidasa con respecto al control positivo (Oboh et al. 2017; Radünz et al. 2021). Los estudios por Cromatografía en Gases acoplado a un Espectrómetro de Masas de estos AE reportan al terpeno D-limoneno como componente principal para naranja y limón. En jengibre son 1,8-cineol, curcumeno, canfeno y geranial, mientras que el AE de orégano contiene los compuestos fenólicos carvacrol y timol como componentes mayoritarios, los cuales han mostrado propiedades antidiabéticas mediante la inhibición de α -glucosidasa (Bautista-Hernández et al. 2021; Gumbarewicz et al. 2022; José-Rita et al. 2022).

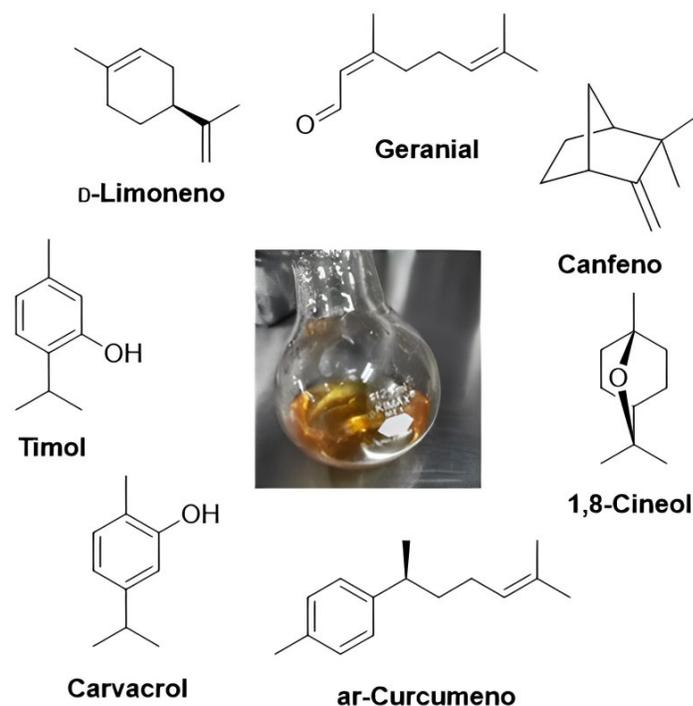


Figura 2. Componentes mayoritarios de los aceites esenciales de naranja, limón, orégano y jengibre (Bautista-Hernández et al. 2021; Gumbarewicz et al. 2022; José-Rita et al. 2022).

3.2 Inhibición sobre lipasa pancreática

Para analizar el efecto inhibitorio de los AE sobre lipasa pancreática se empleó orlistat como control positivo (Tabla 1). Se evaluaron a una concentración de 1.0 mg/mL observando porcentajes de inhibición de 32.6 a 62.6% mientras que orlistat presentó una CI_{50} de 0.1 μ g/mL. Estos datos sugieren que los AE y sus metabolitos de naturaleza terpénica presentan mayor selectividad sobre α -glucosidasa.

4. CONCLUSIONES

Los AE de naranja, limón, orégano y jengibre mostraron alta inhibición y selectividad sobre α -glucosidasa y ligero efecto inhibitorio sobre lipasa pancreática, siendo el AE de limón con mayor actividad sobre α -glucosidasa con respecto al fármaco acarbose. Estos AE podrían ser una alternativa en el tratamiento de diabetes.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Investigación y Posgrado-IPN (20231326) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por el financiamiento otorgado para la realización del presente trabajo.

6. REFERENCIAS

Basto-Abreu A, López-Olmedo N, Rojas-Martínez R, Aguilar-Salinas CA, Moreno-Banda GL, Carnall M, Rivera-Dommarco JA, Romero-Martínez M, Barquera S, Barrientos-Gutiérrez T (2023) Prevalencia de prediabetes y diabetes em México. *Ensanut 2022. Salud Publica Mex.* 65:S163-S168. <https://doi.org/10.21149/14832>

Bautista-Hernández I, Aguilar CN, Martínez-Ávila GCG, Torres-León C, Iliina A, Flores-Gallegos AC, Kumar VD, Chávez-González ML (2021) Mexican orégano (*Lippia graveolens* Kunth) as source of bioactive compounds: a review. *Molecules.* 26:5156. <https://doi.org/10.3390/molecules26175156>

Calvo-Irabién LM (2018) Native Mexican aromatic flora and essential oils: current research status, gaps in knowledge and agro-industrial potential. *Ind. Crops Prod.* 111:807-822. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.044>

Escandón-Rivera S, Mata R, Andrade-Cetto A (2020) Molecules isolated from mexican hypoglycemic plants: a review. *Molecules.* 25:4145. <https://doi.org/10.3390/molecules25184145>

Gumbarewicz E, Jarzab A, Stepulak A, Kukula-Koch (2022) *Zingiber officinale* Rosc. In the treatment of metabolic syndrome disorders-a review of in vivo studies. *Int. J. Mol. Sci.* 23:15545. <https://doi.org/10.3390/ijms232415545>

Holmbäck U, Grudén S, Litorp H, Willhems D, Kuusk S, Alderborn G, Söderhall A, Forslund A (2022) Effects of a

novel weight-loss combination product containing orlistat and acarbose on obesity: a randomized placebo-controlled trial. *Obesity.* 30:2222-2232. <https://doi.org/10.1002/oby.23557>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Available from: CARACTERÍSTICAS DE LAS DEFUNCIÓNES REGISTRADAS EN MÉXICO DURANTE 2021 (inegi.org.mx) [fecha de revisión 21 septiembre 2023]

José-Rita BJ, Kipré BG, Kouadio IS, Yannick K, Erick-Kévin BG, legue RK, Ceylan R, David DN, Zengin G, Mireille D (2022) Study of the chemical and in vivo cytotoxic activities of essential oils (EOs) of two plants from the Ivorian flora (*Lippia multiflora*, *Zingiber officinale*) and their activities against non-enveloped viruses. *S. Afr. J. Bot.* 151:387-393. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.03.053>

Juárez-Rosete CR, Aguilar-Castillo JA, Juárez-Rosete ME, Bugarín-Montoya R, Juárez-López P, Cruz CE (2013) Hierbas aromáticas y medicinales en México: tradición e innovación. *Rev. Biociencias.* 2:119-129.

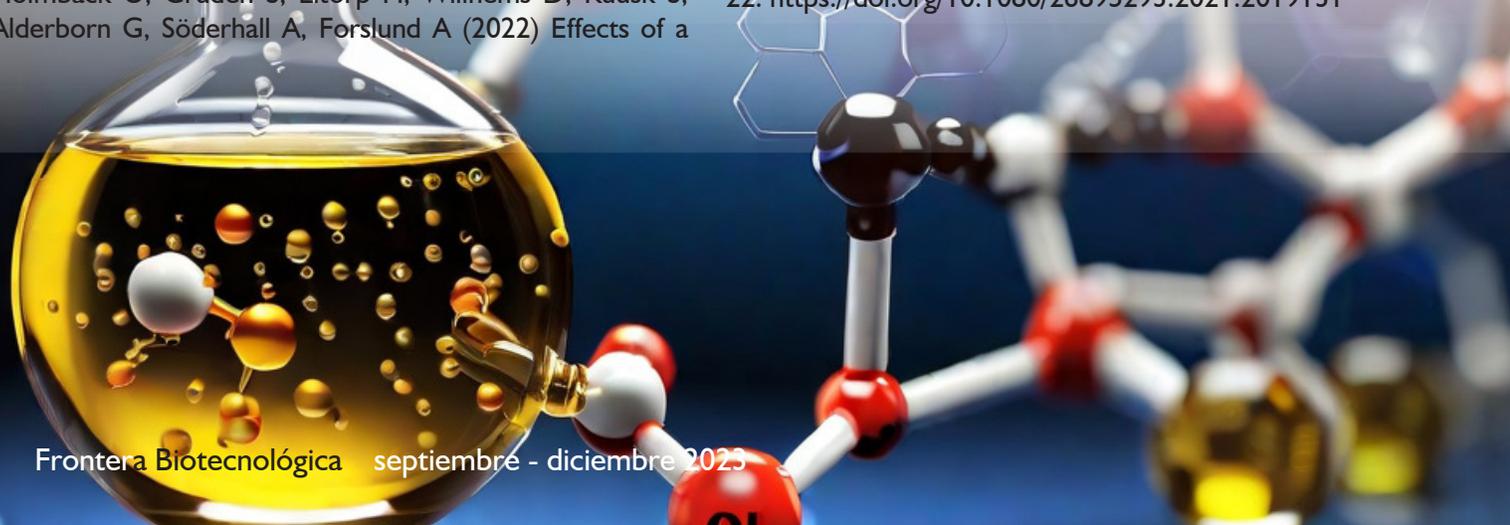
Oboh G, Olasehinde TA, Ademosun AO (2017) Inhibition of enzymes linked to type-2 diabetes and hypertension by essential oils from peels of orange and lemon. *Int. J. Food Prop.* 20:S586-S594. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1303709>

Pino AJA (2015) Aceites esenciales. Química, bioquímica, producción y usos. Editorial Universitaria, Inc., Vedado, La Habana, Cuba. 157-174 pp.

Radünz M, Mota MT, dos Santos HCH, Correa API, Radünz AL, Avila GE, da Rosa ZE (2021) Chemical composition and in vitro antioxidant and antihyperglycemic activities of clove, thyme, oregano, and sweet orange essential oils. *LWT-Food Sci. Technol.* 138:110632. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110632>

Tripathi H, Suresh R, Kumar S, Khan F (2016) International trade in essential oils and resinoids: a case of study of past 18 years. *J. Med. Aromat. Plant Sci.* 38:1-28.

Vo CVT, Luu NVH, Nguyen TTH, Nguyen TT, Ho, BQ, Nguyen TH, Tran TD, Nguyen QT (2022) Screening for pancreatic lipase inhibitors: evaluating assay conditions using p-nitrophenyl palmitate as substrate. *All Life.* 15:13-22. <https://doi.org/10.1080/26895293.2021.2019131>



TRICHODERMA: EL SIMBIONTE OPORTUNISTA DE LAS PLANTAS CON MULTITALENTO BENÉFICO

Luis Ángel Morales Mora¹, Soley Berenice Nava Galicia¹, Omar Romero Arenas², Ignacio Eduardo Maldonado Mendoza³, Frida Escamilla Barragán¹ y Martha Bibbins Martínez^{1*}

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

²Laboratorio 204 de Hongos comestibles y Patología vegetal, Ecocampus Valsequillo, Edificio Val 1, Km 7, carretera a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa, CP 72960, Puebla, Pue, México.

³Departamento de biotecnología agrícola, CIIDIR-Sinaloa. Instituto Politécnico Nacional, Boulevard Juan de Dios Bátiz Paredes. No. 250. Guasave, Sinaloa, México. CP 81101

*e-mail: lmoralesm2300@alumno.ipn.mx y mbibbinsm@ipn.mx

RESUMEN

Trichoderma es un género de hongos ascomicetos filamentosos e hipocrealinos, con varios talentos en distintos campos, por ejemplo, son capaces de formar simbiosis oportunistas con las raíces de las plantas, en el suelo pueden solubilizar nutrientes y hacerlos biodisponibles para las raíces, en ese mismo nicho pueden parasitar y competir con otros hongos para finalmente usarlos como alimento y ganar territorio en la rizosfera. Estas aptitudes de *Trichoderma* se deben en gran medida a su capacidad de crecimiento, producción de metabolitos secundarios y enzimas que trascienden en el éxito de su colonización. Estas destrezas, presentes en distintas especies de *Trichoderma* les ha permitido adaptarse a distintas condiciones ambientales y utilizando diversos sustratos como alimento o establecer una diafonía bioquímica con las raíces vegetales tan fina al grado de crear una simbiosis benéfica para ambos organismos. Tras colonizar la raíz pueden modular una respuesta a nivel sistémico y poner en modo alerta todas y cada una de las partes de la planta ante la invasión por algún patógeno. Además, promueven el desarrollo de raíces laterales, mejoran el sabor de los frutos y aumentan la biomasa foliar. En general, promueven el crecimiento vegetal de las plantas colonizadas. Esta propiedad se explota en el desarrollo de biofertilizantes, ya que también son altamente resistentes a los fungicidas químicos, lo que los convierte en bioefectores adecuados para aplicarlos junto con pesticidas químicos y hacer un manejo integrado del cultivo promoviendo un sistema agro productivo sustentable.

Palabras clave: *Trichoderma*, Respuesta sistémica inducida (ISR), antagonista, biocontrol y crecimiento vegetal.

ABSTRACT

Trichoderma is a genus of filamentous and hypocreale ascomycete fungi, with several talents in different fields, for example, they can form opportunistic symbioses with the roots of plants, in soil they can solubilize nutrients and make them bioavailable for the roots, within the same niche they can parasitize and compete with other fungi to finally use them as food and gain territory in the rhizosphere. These abilities of *Trichoderma* are largely due to its growth capacity, production of secondary metabolites and enzymes that transcend the success of its colonization. These skills present in different species of *Trichoderma* have allowed them to adapt to different environmental conditions and use various substrates as food or establish a biochemical crosstalk with the plant roots so fine to the point of creating a beneficial symbiosis for both organisms. After colonizing the root, they can modulate the response at a systemic level and put each part of the plant on alert in the event of invasion by a pathogen. In addition, they promote the development of lateral roots, improve the flavor of the

fruits, and increase leaf biomass. In general, they promote plant growth of colonized plants. This property is exploited in the development of biofertilizers, since they are also highly resistant to chemical fungicides, which makes them suitable bioeffectors to apply together with chemical pesticides and carry out integrated crop management, promoting a sustainable agro-productive system.

Key words: *Trichoderma*, Induced Systemic Response (ISR), antagonist, biocontrol, and plant growth.

I. INTRODUCCIÓN

Trichoderma es un género de hongos ascomicetos filamentosos de color verde, por lo general se encuentra creciendo de forma asexual (anamórfica) sobre la madera en descomposición, observándose una colonia verde como resultado de la maduración de sus conidios, esta es la forma imperfecta de *Trichoderma* (Figura 1), no obstante, en la naturaleza también se encuentra su forma sexual (teleomorfo) conocido como *Hypocrea* o forma completa de *Trichoderma* (Jaklitsch, 2009). De hecho, los *Trichoderma* pertenecen a la familia Hypocreaceae y al orden Hipocreales, curiosamente ambos nombres según el griego antiguo provienen de “hupókrisis” lo cual se puede traducir al latín como “hipócrita” o “poco sincero”.

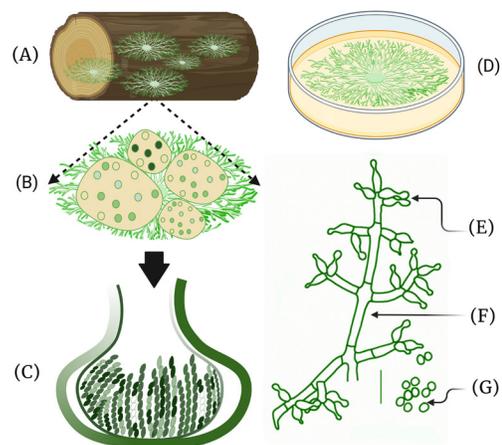


Figura 1. Estadios morfológicos (panel 1): A) Crecimiento sexual de *Trichoderma* (*Hypocrea*), B) Estromas de *Hypocrea* sobre madera en descomposición, C) Ascas con ascosporas, D) micelio en PDA, E) Filíides, F) Hifas septada y G) Conidios. **Clave taxonómica de *T. harzianum* Rifai (panel 2):** A) Conidióforos hialinos, erectos y ramificados, B) masas de esporas apicalmente en las filíides verticiladas: filíides cortas y gruesas, C) Clamidosporas marrones, subglobosas y D) Conidios filiosporosos, hialinos, globosos, subglobosos u ovados, unicelulares (Watanabe 2002).

Es por ello que los científicos han atribuido dos caras a *Trichoderma*, la buena y la mala. En este artículo nos enfocaremos en la cara benéfica de este organismo, así que nos preguntamos ¿Cuáles son los rasgos que le dan una cara buena a *Trichoderma*?, pues bien, algunos rasgos positivos de *Trichoderma* son su talento en el biocontrol de hongos fitopatógenos, esto ya se ha demostrado mayormente en las especies de; *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. harzianum*

y *T. virens* (Navi & Yang, 2020). Además, al género *Trichoderma* se le ha adjudicado la capacidad de promoción del crecimiento vegetal y la protección de las plantas por parte de hongos endófitos y su papel en la inducción de la respuesta sistémica inducida (ISR) y la respuesta sistémica adquirida (SAR). *Trichoderma* también posee una gran capacidad para producir una amplia gama de metabolitos secundarios, diversas enzimas y compuestos con actividad antifúngica o antibacteriana. Todos estos aspectos positivos forman parte de los talentos de *Trichoderma* (Figura 2).

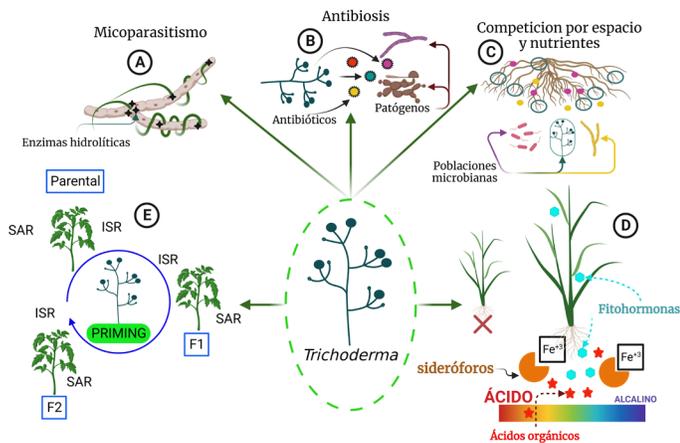


Figura 2. Principales talentos de *Trichoderma* en la rizosfera. A) Micoparasitismo de hongos fitopatógenos a través de la liberación de enzimas hidrolíticas y la absorción de los restos celulares de las hifas del hongo huésped, B) Antibiosis a partir de la liberación de metabolitos secundarios con propiedades antifúngicas y antibacterianas, C) competición directa por nichos y nutrientes en la Rizosfera frente a otros grupos microbianos, D) Promotor del crecimiento vegetal, a partir de la liberación de ácidos orgánicos que acidifican el suelo y solubilizan fosfatos, liberación de sideróforos que sequestran el hierro y producción de fitohormonas, todos estos compuestos impactan en la salud y desarrollo de las plantas, E) Inducción de resistencia sistémica, entrenamiento de las plantas a partir de la activación de las vías de resistencia sistémica inducida (ISR) y resistencia sistémica adquirida (SAR) dichas características se heredan a la siguiente generación de plantas hijas gracias al efecto de bioprimería de las plantas progenitoras.

2. TRICHODERMA Y SUS MÚLTIPLES TALENTOS

2.1 *Trichoderma*: el ingeniero de las raíces y promotor del desarrollo vegetal

La colonización del hongo *Trichoderma spp.*, en raíces de plantas ha demostrado tener efectos benéficos en el desarrollo de las mismas entre los que destacan; una mayor tasa de germinación, más uniformidad en la emergencia de plántulas, un aumento en el peso seco y fresco de los tejidos, más vigor y altura en las plantas, una floración más uniforme y abundante, aumento en el contenido de clorofila y la eficiencia fotosintética, entre otros más (Mendoza-Mendoza et al., 2018; Poveda et al., 2019; Sánchez-Montesinos et al., 2020). Este efecto de promoción del crecimiento de las plantas se debe en gran medida a que *Trichoderma* tiene la capacidad de alterar procesos fisiológicos, como la conductancia estomática, la tasa de transpiración, la tasa

neta de fotosíntesis, la regulación del dióxido de carbono, la absorción de agua y nutrientes (Doni et al., 2014) Esta última parte se ha visto en suelo, donde el hongo tiene la capacidad de mejorar la absorción de nutrientes mediante la solubilización y quelación de minerales involucrados en el metabolismo de la planta, mediante la acidificación del suelo por la producción de ácidos orgánicos (ácido tartárico, el ácido succínico, el ácido láctico y el ácido cítrico), la quelación de compuestos como el hierro (III) por moléculas como los sideróforos, dejando este mineral biodisponible para la absorción radicular lo cual mejora el crecimiento de las plantas (Subramaniam et al., 2022).

2.2 *Trichoderma* y la inducción de resistencia en su huésped vegetal

Otro aspecto que los científicos han evaluado es como la inoculación del hongo *Trichoderma* participa en la protección y resistencia de las plantas cuando estas se encuentran sometidas algún tipo de estrés. Por ejemplo, en 2018 (Ghorbanpour et al., 2018) colaboradores, informaron que la inoculación de *T. harzianum* en semillas y plántulas de tomate ayudo a mitigar el estrés biótico y abiótico al que fueron sometidas las plantas, logrando mitigar el daño oxidativo. Además, otras especies como *T. virens* y *T. atroviride* han demostrado tener la capacidad para inducir una respuesta sistémica tras su inoculación sobre raíces de *Arabidopsis thaliana* en condiciones axénicas (Contreras-Cornejo et al., 2011). Pero ¿Cómo se induce esta respuesta?, Pues al parecer, tras el primer contacto de *Trichoderma* con *A. thaliana*, esta no reconoce al hongo como un microorganismo benéfico, sino al contrario, lo reconoce como un posible invasor en sus raíces y de manera inmediata enciende sus vías canónicas de inmunidad basal, es decir, la acumulación de las fitohormonas de ácido salicílico, ácido jasmónico y etileno, posteriormente tras el dialogo bioquímico la planta baja los niveles de defensa y permite la colonización inter e intracelular por el hongo benéfico (González-López et al., 2021). Esta inducción de resistencia a nivel sistémico ha demostrado eficacia para tolerar y suprimir la invasión de patógenos importantes como *Botrytis cinerea* en sistemas tripartitos en condiciones de laboratorio.

2.3 “Priming” y la herencia epigenética de la ISR mediada por *Trichoderma*

De forma coloquial se puede decir que el priming o cebado de *Trichoderma* sobre plantas huésped es un fenómeno de preparación de las plantas ante algún tipo de estrés, ya sea biótico o abiótico (Conrath et al., 2015). En los sistemas duales planta-*Trichoderma*, el priming es un proceso dinámico (Lorito et al., 2010), y se pueden identificar cuatro etapas temporales: Etapa 1: la percepción temprana de *Trichoderma* por parte de la planta que solo dura unas pocas horas; Etapa 2: señalización celular, que da lugar a respuestas de defensa sistémicas que pueden durar varios días y decaer gradualmente en semanas; Etapa 3: cebado

duradero y la Etapa 4: herencia transgeneracional (Morán-Díez et al., 2021). Las dos últimas etapas duran desde unas pocas semanas hasta la etapa de descendencia. Se ha informado que la resistencia que proporciona el fenómeno de priming por parte de *Trichoderma* en las plantas es una resistencia duradera contra el estrés biótico y abiótico al equilibrar las diferentes vías dependientes de fitohormonas. Por ello, se plantea que, en esta imprimación duradera transgeneracional (Pieterse et al., 2014), *Trichoderma* puede estar involucrado en la regulación epigenética de las plantas a través de modificaciones y reemplazos de histonas (Luna et al., 2012), (hipo)metilación del ADN (Pavet et al., 2006) y metilación del ADN dirigida por ARN (Ramírez-Valdespino et al., 2019).

2.4 *Trichoderma*: el hongo come hongos (Micoparasitismo)

Trichoderma usa el micoparasitismo como mecanismo para alimentarse de otros hongos (Figura 3), este proceso consta de varios pasos; 1) reconocimiento del hongo fitopatógeno, 2) adhesión a las hifas del fitopatógeno, 3) penetración celular y degradación de las hifas y 4) finalmente absorción de los restos celulares del hongo fitopatógeno (Daguerre et al., 2014). Este proceso involucra la secreción de enzimas hidrolíticas y biomoléculas señalizadoras además de la formación de apresorios por parte de *Trichoderma*. Es su mecanismo por excelencia para el control de hongos fitopatógenos en la rizosfera.

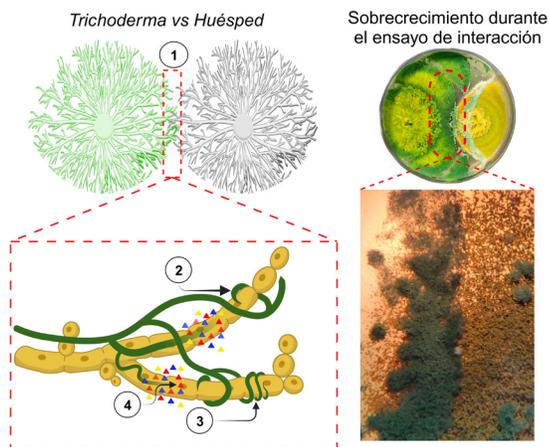


Figura 3. Micoparasitismo de *Trichoderma* sobre hongos fitopatógenos. 1) Quimiotropismo de las hifas de *Trichoderma* hacia su huésped, 2) Desarrollo de ganchos y adhesión por medio de hidrofobinas, 3) Estrangulamiento por medio de superenrollamiento y 4) Degradación de las hifas del huésped por la secreción de enzimas hidrolíticas; quitinasas y glucanasas (CWDE).

2.5 *Trichoderma* y la sana distancia frente a fitopatógenos (Antibiosis)

La antibiosis se basa en la capacidad que tiene *Trichoderma* para producir diversos metabolitos secundarios con actividad antibacteriana y antifúngica que comprenden metabolitos tóxicos volátiles y no volátiles. La diversidad es muy grande y con funciones diferentes, pero entre los compuestos

más frecuentes se encuentran las enzimas hidrolíticas y compuestos como el ácido harziánico, alameticinas, tricolina, peptaiboles, aldehído fórmico, acetaldehídos, entre otros (Gajera & Domadiya, 2013; Hermosa et al., 2014).

2.6 ¡Sálvese quien pueda!, *Trichoderma* y la competencia por nutrientes

Los nutrientes diseminados en la rizosfera son vitales para el desarrollo de los organismos rizosféricos incluidos organismos benéficos y fitopatógenos. Un mecanismo que usa *Trichoderma* para regular las poblaciones de fitopatógenos transmitidos por el suelo, es la competencia por el nicho ecológico y por los nutrientes, a saber, los principales nutrientes por los que compiten son carbono, nitrógeno y hierro. Se ha demostrado que algunas cepas de *Trichoderma* tienen mayor eficiencia para solubilizar nutrientes del suelo en comparación con hongos fitopatógenos, un ejemplo clásico es el secuestro del hierro (III) por la liberación de sideróforos (hidroxamatos) por parte de *Trichoderma* (Andrade-Hoyos et al., 2023), de esta forma no deja el hierro disponible para los fitopatógenos, lo que en última instancia resulta en la supresión de la infección patógena.

3. CONCLUSIONES

El aprendizaje acerca de los estilos de vida de *Trichoderma* aún está en proceso y es todo un desafío para la investigación científica el seguir desentrañando los secretos de la diafonía molecular y el dialogo bioquímico entre *Trichoderma* y las plantas huésped. Sin embargo, es importante concluir que cerca del 90 % de la literatura apunta a que estos hongos tienen un enorme potencial para ser implementados en planes estratégicos con miras a una agricultura sustentable y formar parte de la revolución de los microorganismos.

4. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional y Secretaría de Investigación y Posgrado, proyectos SIP No. 20231995 y CONACYT beca No. 842309

5. Referencias

- Andrade-Hoyos, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H. V., Martínez-Salgado, S. J., & Romero-Arenas, O. (2023). Ecological and biological benefits of the cosmopolitan fungus *Trichoderma* spp. in agriculture: A perspective in the Mexican countryside. *Revista Argentina de Microbiología*. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>
- Conrath, U., Beckers, G. J. M., Langenbach, C. J. G., & Jaskiewicz, M. R. (2015). Priming for Enhanced Defense. In *Annual Review of Phytopathology* (Vol. 53, pp. 97–119). Annual Reviews Inc. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120132>

- Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Beltrán-Peña, E., Herrera-Estrella, A., & López-Bucio, J. (2011). *Trichoderma*-induced plant immunity likely involves both hormonal- and camalexin dependent mechanisms in *Arabidopsis thaliana* and confers resistance against necrotrophic fungus *Botrytis cinerea*. *Plant Signaling and Behavior*, 6(10), 1554–1563. <https://doi.org/10.4161/psb.6.10.17443>
- Daggerre, Y., Siegel, K., Edel-Hermann, V., & Steinberg, C. (2014). Fungal proteins and genes associated with biocontrol mechanisms of soil-borne pathogens: A review. In *Fungal Biology Reviews* (Vol. 28, Issue 4, pp. 97–125). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2014.11.001>
- Doni, F., Isahak, A., Che Mohd Zain, C. R., & Wan Yusoff, W. M. (2014). Physiological and growth response of rice plants (*Oryza sativa* L.) to *Trichoderma* spp. inoculants. *AMB Express*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13568-014-0045-8>
- Gajera, H. P., & Domadiya, R. (2013). Molecular mechanism of *Trichoderma* as bio-control agents against phytopathogen system-a review. <https://www.researchgate.net/publication/267571641>
- Ghorbanpour, A., Salimi, A., Ghanbary, M. A. T., Pirdashti, H., & Dehestani, A. (2018). The effect of *Trichoderma harzianum* in mitigating low temperature stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Scientia Horticulturae*, 230, 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.028>
- González-lópez, M. D. C., Jijón-moreno, S., Dautt-castro, M., Ovando-vázquez, C., Ziv, T., Horwitz, B. A., & Casas-flores, S. (2021). Secretome analysis of *arabidopsis-trichoderma* atroviride interaction unveils new roles for the plant glutamate: Glyoxylate aminotransferase gga1 in plant growth induced by the fungus and resistance against botrytis cinerea. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13). <https://doi.org/10.3390/ijms22136804>
- Hermosa, R., Cardoza, R. E., Rubio, M. B., Gutiérrez, S., & Monte, E. (2014). Secondary Metabolism and Antimicrobial Metabolites of *Trichoderma*. In *Biotechnology and Biology of Trichoderma* (pp. 125–137). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59576-8.00010-2>
- Jaklitsch, W. M. (2009). European species of *Hypocrea* Part I. The green-spored species. *Studies in Mycology*, 63, 1–91. <https://doi.org/10.3114/sim.2009.63.01>
- Lorito, M., Woo, S. L., Harman, G. E., & Monte, E. (2010). Translational research on *Trichoderma*: From 'omics to the field. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 395–417. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114314>
- Luna, E., Bruce, T. J. A., Roberts, M. R., Flors, V., & Ton, J. (2012). Next-generation systemic acquired resistance. *Plant Physiology*, 158(2), 844–853. <https://doi.org/10.1104/pp.111.187468>
- Mendoza-Mendoza, A., Zaid, R., Lawry, R., Hermosa, R., Monte, E., Horwitz, B. A., & Mukherjee, P. K. (2018). Molecular dialogues between *Trichoderma* and roots: Role of the fungal secretome. In *Fungal Biology Reviews* (Vol. 32, Issue 2, pp. 62–85). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2017.12.001>
- Morán-Diez, M. E., Martínez de Alba, Á. E., Rubio, M. B., Hermosa, R., & Monte, E. (2021). *Trichoderma* and the plant heritable priming responses. In *Journal of Fungi* (Vol. 7, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/jof7040318>
- Navi, S. S., & Yang, X. B. (2020). Use of *Trichoderma* in the Management of Diseases in North American Row Crops (pp. 187–204). https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1_10
- Pavet, V., Quintero, C., Cecchini, N. M., Rosa, A. L., & Alvarez, M. E. (2006). *Arabidopsis* Displays Centromeric DNA Hypomethylation and Cytological Alterations of Heterochromatin Upon Attack by *Pseudomonas syringae*. / 577 *MPMI*, 19(6), 577–587. <https://doi.org/10.1094/MPMI>
- Pieterse, C. M. J., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C. M., & Bakker, P. A. H. M. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Review of Phytopathology*, 52, 347–375. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102340>
- Poveda, J., Hermosa, R., Monte, E., & Nicolás, C. (2019). *Trichoderma harzianum* favor's the access of arbuscular mycorrhizal fungi to non-host Brassicaceae roots and increases plant productivity. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48269-z>
- Ramírez-Valdespino, C. A., Casas-Flores, S., & Olmedo-Monfil, V. (2019). *Trichoderma* as a model to study effector-like molecules. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 10, Issue MAY). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01030>
- Sánchez-Montesinos, B., Diánez, F., Moreno-Gavira, A., Gea, F. J., & Santos, M. (2020). Role of *Trichoderma aggressivum* f. *europaeum* as plant-growth promoter in horticulture. *Agronomy*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy10071004>
- Subramaniam, S., Zainudin, N. A. I. M., Aris, A., & Hasan, Z. A. E. (2022). Role of *Trichoderma* in Plant Growth Promotion. In *Advances in Trichoderma Biology for Agricultural Applications* (pp. 257–280). https://doi.org/10.1007/978-3-030-91650-3_9

SARGAZO: PROBLEMÁTICA Y OPORTUNIDADES DE APROVECHAMIENTO

Ana Rosa Sánchez-Camarillo^{1*}, María Myrna Solís-Oba¹, José Agustín Pacheco- Ortiz¹, Daniel Santos-Ubaldo¹, Aida Solís-Oba², Rubria Marlen Martínez-Casares².

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal, Km 1.5, 90700, Santa Inés Tecuexcomac, Tlax.

²Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, Lab. de Biotransformaciones, Calz. del Hueso 1100, Coapa, Villa Quietud, Coyoacán, 04960, Ciudad de México.
asanchezc2000@alumno.ipn.mx

RESUMEN

El sargazo es una macroalga que contribuye al desarrollo de muchas especies marinas, además, cuenta con alto valor nutrimental, posee gran capacidad antioxidante, polisacáridos, pigmentos, péptidos, ácidos grasos y minerales. Sin embargo, cuando la cantidad de sargazo aumenta en aguas oceánicas se convierte en un problema, afectando al ecosistema marino y los ingresos de los sectores pesquero y turístico. La acumulación de sargazo en las zonas costeras es una problemática, ya que es un residuo de difícil disposición, que afecta tanto al medio ambiente como a la salud humana. Una estrategia interesante para disminuir la acumulación de sargazo en las zonas costeras ha sido reutilizar y aprovechar sus características y alto valor nutrimental, por ejemplo, en la agricultura, en donde se han incorporado a los cultivos extractos de diversas algas como bioestimulantes, aumentando el rendimiento de la cosecha y mejorando las características nutrimentales y nutraceuticas. El presente trabajo es una revisión de las aplicaciones de los compuestos bioactivos que contiene el sargazo a nivel agroalimentario.

Palabras clave: bioestimulante, sargazo, compuestos bioactivos, fertilizante

ABSTRACT

Sargassum is a macroalgae that contributes to the development of many marine species, it has high nutritional value, has a high antioxidant capacity, polysaccharides, pigments, peptides, fatty acids and minerals. However, when the amount of *Sargassum* increases in ocean waters it becomes a problem, affecting the marine ecosystem and the income of the fishing and tourism sectors. The accumulation of *Sargassum* in coastal areas is problematic, because it is a waste that is difficult to dispose of and it affects the environment as well as human health. An interesting strategy to reduce the accumulation of *Sargassum* in coastal areas has been to reuse and to benefit from its characteristics and high nutritional value, for example, in agriculture where extracts of various algae have been incorporated as biostimulants to crops, increasing crop yields and improving the nutritional and nutraceutical characteristics of crops. The present work is a review of various applications of the bioactive compounds contained in *Sargassum* at the agri-food level.

Keywords: biostimulants, bioactive compounds, fertilizer, *Sargassum*

I. INTRODUCCIÓN

Las macroalgas del género *Sargassum* son organismos multicelulares distribuidos en zonas tropicales, forman colonias flotantes y cubren grandes extensiones de océano, el sargazo cumple funciones vitales en el océano: como

hábitat, proporcionar oxígeno al mar, como productor primario en la cadena alimentaria marina, como sitio de desove, refugio de diversas especies marinas, alimento y protección para otras tantas; sin embargo, su acelerado crecimiento ha llegado a alcanzar 20 millones de toneladas de peso vivo en el Atlántico (Wang et al. 2019). Actualmente, en las costas de Yucatán la cantidad de arribazones es considerable, predominando las especies *S. natans* y *S. fluitans* (Nava y Sánchez, 2020). Entre 2018 y 2019, hubo un aumento en la aparición de dicha macroalga en las playas del Caribe, en Quintana Roo, (Optical oceanography Lab. 2019) (ver figura 1). Para aminorar afectaciones al ambiente, es necesaria la pronta remoción del sargazo, ya que su rápida descomposición genera mal olor, producción de amoníaco, ácido sulfhídrico y proliferación de insectos, además, aumenta la mortalidad de especies marinas por modificación del color del agua, esta se torna café, impidiendo el paso de luz y propiciando zonas de anoxia y aumento de la materia orgánica. En el sector económico se ven afectadas las actividades pesqueras y servicios que incluyen la llegada de turistas, interrumpiéndose actividades acuáticas en áreas de mayor acumulación de sargazo, ocasionando daños a la salud, manifestándose principalmente por medio de dermatitis, conjuntivitis y malestares respiratorios. (Robledo



Figura 1. Acumulación de sargazo en el océano

Fuente: pixabay

y Vázquez-Delfín, 2019; Martínez-González. 2019).

¿Cuáles son las principales causas del arribo excesivo de sargazo?

Aún se desconoce a qué se debe exactamente el aumento de la reproducción masiva de sargazo, pero se ha determinado que ciertas condiciones ambientales propician su proliferación, entre ellas, mayor cantidad de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno, hierro y fósforo, así como el incremento de la temperatura global (Tussenbroek 2020). Se ha reportado entre otras causas, la presencia de polvo del desierto del Sahara, residuos de fertilizantes minerales que confluyen al mar y provienen de actividades en la Amazonia, además de aguas residuales de municipios de la Riviera Maya que se descargan al mar (Martínez-González 2019) es decir,

todo indica que los problemas ambientales derivados de la actividad humana han propiciado la proliferación de sargazo.

2. ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL SARGAZO

En poblaciones orientales y algunas europeas las algas son utilizadas como alimento, en China son consumidas en sopas y ensaladas (Samarathunga et al. 2022) debido a su actividad antioxidante, por tanto, se considera nutraceutico y de gran contenido nutrimental (Choudhary et al. 2021). Por ejemplo, en el alga comercial se ha reportado que el contenido de proteína disponible va de 31.9 a 366.0 mg/g, 6.9 a 30.4 mg/g de lípidos totales, 29.2 a 45.4 mg/g de fibra cruda y 115.5 a 298.3 mg/g de ceniza, mientras que en algas no comerciales se pueden encontrar rangos de 30.8 a 156.0 mg/g, 4.5 a 101.4 mg/g, 30.4 a 220.1 mg/g y 53.13 a 195.76 mg/g, respectivamente (Cherry et al. 2019). Así mismo, se ha reportado que *Sargassum* es una fuente importante de compuestos bioactivos y fitoquímicos como: polisacáridos, pigmentos, péptidos, ácidos grasos esenciales como omega-6 y omega-3, vitaminas liposolubles, minerales (por ejemplo, calcio, boro, zinc, potasio, fósforo, magnesio, entre otros), compuestos fenólicos, saponinas y flavonoides, que presentan actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana (Via et al. 2019, Kumar et al. 2021).

Las algas también se utilizan como aditivos alimenticios, en cosméticos, aditivos dietéticos y se procesan industrialmente para extraer agentes espesantes como el alginato y el agar (Kholssi et al. 2022). En países europeos las algas se han utilizado como alimento para animales y sus derivados hidrocoloides se usan como agentes gelificantes (Polat et al. 2021). Por otro lado, las algas pueden aprovecharse como biocombustibles de tercera generación (Khatri et al. 2019), es decir, sus azúcares fermentables pueden ser transformados en combustibles como etanol, butanol y metanol (Agrawal et al. 2020).

Otra aplicación importante es el uso de extractos de sargazo en la agricultura, en donde han sido utilizados para mejorar las características físicas y nutrimentales de los cultivos (López-Padrón et al. 2020)

3. APLICACIÓN DE EXTRACTOS DE SARGAZO EN AGRICULTURA ECOLÓGICA

La fertilización con macroalgas se ha realizado por aplicación directa de soluciones líquidas sobre el suelo, como preparados de polvos secos y recientemente los extractos de macroalgas se han convertido en una alternativa importante en la agricultura sostenible (Shah et al. 2013).

Los extractos derivados de macroalgas del género *Sargassum* contienen una cantidad considerable de nutrientes que son

fácilmente asimilados por las plantas (Verma et al. 2020); lo que ha conducido a un incremento en el rendimiento, en la tasa de crecimiento de la planta y la mejora de las características organolépticas y nutraceuticas de los cultivos. Estos extractos se conocen como bioestimulantes, que en una primera definición se catalogaron como materiales que, en muy pequeñas dosis inciden en el crecimiento de las plantas, más tarde, Zhang et al. (2003) explicaron que su acción bioestimulante se debe a efectos hormonales y la protección que brinda a las plantas frente al estrés abiótico mediante la adición de antioxidantes.

La aplicación de bioestimulantes a base de sargazo aseguran la nutrición de la planta porque aportan altas concentraciones de materia orgánica, microelementos como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), cobalto (Co), molibdeno (Mo), manganeso (Mn) y níquel (Ni), así como algunas vitaminas, aminoácidos y reguladores de crecimiento, principalmente, auxinas, citoquininas y giberelinas (Khan et al. 2009). Estos actúan activando las células de las raíces, estimulando la biosíntesis de las citoquininas endógenas (Schmidt. 2005), mantienen el estado hídrico de la hoja, el contenido de ciertos nutrientes en las plantas, promueven el prendimiento y crecimiento de los brotes y la fuerza de tracción de las raíces (Demir et al. 1999), favorecen balance hormonal, producción de auxinas y citoquininas, mejoran la actividad de enzimas que protegen contra condiciones adversas del ambiente (Schmidt. 2005), la estimulación de la biosíntesis de tocoferol, ácido ascórbico y carotenoides en el cloroplasto que protegen el aparato fotosintético II (Zhang y Schmidt. 2000), protegen a las células vegetales contra peroxidación lipídica y promueven la activación de enzimas que se producen bajo estrés (Smirnof 1995), estimulan la elongación del tallo, y presentan actividad similar a la de la auxina. (Crouch y Van-Staden. 1993), entre otras.

Bioestimulantes a base de sargazo

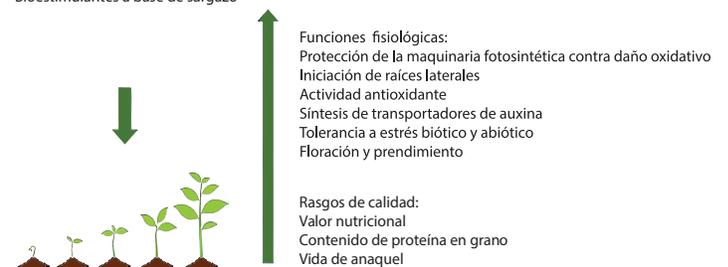


Figura 2. Beneficios de los bioestimulantes aplicados a los cultivos
 Elaboración propia a partir de: du Jardin. 2015 y Mandal. 2023

Un ejemplo de el efecto de los extractos de sargazo aplicados en agricultura es la evaluación realizada por Rathore et al. (2009) en ella se evaluó la fertilización de soya (*Glicine max L.*) por medio de extracto del alga *Kappaphycus alvarezii*, a diferentes concentraciones (0, 2.5, 5, 7.5, 12.5 y 15% v/v) siendo el 15 % el tratamiento que generó mayor beneficio respecto al control negativo, incrementando; la altura de la planta (cm) en 16 %, el número de plantas en 78 %, el número de granos por vaina: 73 %, el peso total (g): 56.5 %, y el rendimiento del grano: 81 %.

La importancia de incorporar extractos de algas como fertilizante radica en que son una alternativa a la actual agricultura intensiva, misma que se sustenta en el uso de cantidades desmedidas de fertilizantes minerales, pesticidas y herbicidas, lo que a lo largo del tiempo impacta en la economía de los productores y en el medio ambiente (Adderley et al. 2023). A nivel mundial se considera a la fertilización inorgánica desmedida como la mayor causa de deterioro de la calidad del suelo, porque disminuye la diversidad del microbiota del suelo, aumenta la vulnerabilidad de las plantas a enfermedades y contamina aguas subterráneas (Chen. 2007), dichos efectos negativos, han conducido a la necesidad de utilizar biofertilizantes que son aplicados como tratamiento de semillas, pulverización foliar y aplicación directa al suelo para proteger las plantas y promover su crecimiento (Verma et al. 2020), mejorar rendimiento y calidad de los cultivos y se ha reportado la mejora en la calidad del suelo después de su uso (Das et al. 2019, Kholssi et al. 2022).

Por lo antes mencionado, tomarelevancia el aprovechamiento del sargazo, ya que en el sector agrícola ayuda a obtener alimentos inocuos y de mayor calidad nutricional, además, de disminuir la huella ambiental que la agricultura tradicional genera, sin comprometer la alimentación de una población cada vez mayor (Benavides-Mendoza. 2021).

4. CONCLUSIONES

La gran acumulación de sargazo representa un problema complejo en zonas costeras, afecta la salud de la población cercana, poniendo en riesgo a las especies marinas y generando pérdidas económicas por la interrupción de actividades pesqueras, comerciales y turísticas, sin embargo, dado el alto contenido de compuestos bioactivos que el sargazo posee y los beneficios que brinda, los residuos de sargazo son aprovechados en diferentes procesos industriales y aplicados en agricultura por ser biofertilizantes respetuosos con el medio ambiente. Cabe mencionar que la investigación sigue explorando las vías fisiológicas y bioquímicas para incorporar de manera eficiente estas macroalgas a los cultivos y estimular el fortalecimiento y metabolismo interno de las plantas, proteger cultivos del estrés abiótico, mejorar la productividad, optimizar los rendimientos agrícolas y mejorar la calidad y protección del suelo. El uso de biofertilizantes está ganando terreno a nivel mundial, por ser una alternativa y/o complemento a los fertilizantes minerales, incrementando la producción agrícola y fertilidad del suelo y por otro lado, reducir el impacto ambiental derivado de actividades agrícolas.

5. REFERENCIAS

Adderley A, Wallace S, Stubbs D, Bowen-O'Connor C, Ferguson J, Watson C, Gustave W (2023) *Sargassum* sp. as a biofertilizer: is it really a key towards sustainable agriculture

for The Bahamas? *Bulletin of the National Research Centre*, 47: 1-112.

Agrawal S, Khatri K, Rathore M.S (2020) Seaweed biomass and microbial lipids as a source of biofuel. In: Kumar, N. (Ed.), *Biotechnology for Biofuels: A Sustainable Green Energy Solution*. Springer, Singapore, pp. 135-163.

Benavides-Mendoza A (2021) Bioestimulantes agrícolas: importancia y definición, DOI: 10.13140/RG.2.2.21104.58889

Chen J (2007) Rapid urbanization in China: a real challenge to soil protection and food security, *Catena* 69:1-15

Cherry PO, Hara C, Magee PJ, McSorley EM. y Allsopp PJ (2019) Risk and benefits of consuming edible seaweeds. *Nutri. Rev.*, doi: 10.1093/nutrit/nuy066.

Choudhary B, Chauhan OP, Mishra A (2021) Edible seaweeds: A potential novel source of bioactive metabolites and nutraceuticals with human benefits. *Frontiers in Marine Sciences*. doi: 10.3389/fmars.2021.740054.

Crouch IJ, Van-Staden J (1993) Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant Growth Regul.* 13: 2129.

Das P, Khan S, Chaudhary AK, AbdulQuadir M, Thaher MI, Al-Jabri H (2019) Potential Applications of Algae-Based Bio-fertilizer. En: Giri B, Prasad R, Wu QS, Varma A (eds) *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment Soil Biology*. Vol 55. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_3

Demir D, Günes A, Inal A, Alpaslan M (1999) Effects of humic acids on the yield and mineral nutrition of cucumber (*cucumis sativus* L.) grown with different salinity levels. *ishs acta horticulturae* 492.

du Jardin P (2015) Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196.

Khan W, Rayirath UBP, Subramanian S, Jitesh MN, Rayorath P, Hodges DM, Critchley AT, Craigie J S, Norrie J, Prithivira B, (2009) Seaweed extracts as bio stimulants of plant growth and development", *J. Plant Growth Regul.*, 28: 386-399.

Khatri K, Rathore M S, Agrawal S, Jha B (2109) Sugar contents and oligosaccharide mass profiling of selected red seaweeds to assess the possible utilization of biomasses for third-generation biofuel production, *Biomass and bioenergy*, 130

Kholssi R, Lougraimzi H, Grina F, Lorentz JF, Silva I, Castaño-Sánchez O, Marks EA (2022) Green agriculture: a review of the application of micro-and macroalgae and their impact on crop production on soil quality. *J Soil Sci Plant Nutr* 22(4):4627-4641

Kumar Y, Tarafdar A, Kumar D, Verma K, Aggarwal M, Badgujar PC (2021) Evaluation of chemical, functional, spectral, and thermal characteristics of *Sargassum wightii* and *Ulva rigida* from Indian coast. *Journal of Food Quality*.

López-Padrón Indira, Martínez-González Lisbel, Pérez-Domínguez Geydi, Reyes-Guerrero Yanelis, Núñez-Vázquez Miriam, Cabrera-Rodríguez JA (2020) Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41(2)

Mandal S, Anand U, Lopez-Bucio J, Radha, Kumar M, Kumar LM, Kumar TR, Dey A (2023) Biostimulants and environmental stress mitigation in crops: A novel and emerging approach for agricultural sustainability under climate change, *Environmental Research*, 233, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116357>

Martínez-González G (2019) Sargazo: La irrupción atípica de un ecosistema milenario, *Salud pública Mex*, 61: 698-700

Nava I, Sánchez H (2020) El sargazo del mar Caribe mexicano, *Ciencia*, 71: 58-61

Optical Oceanography Lab. (2019) Satellite-based Sargassum Watch System (SaWS). University of South Florida, a partir de <https://optics.marine.usf.edu/projects/SaWS.html>

Rathore SS, Chaudhary DR, Boricha GN, Ghosh A, Bhatt BP, Zodape ST, Patolia JS (2009) Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South Afr Journal of Botany* 75: 351–355

Robledo D, Vázquez-Delfín E (2019) sargazo, conociendo al “enemigo”. *Avance y Perspectiva*, 5(3).

Pixabay, sargazo, <https://pixabay.com/es/images/search/sargazo%20/>

Polat S, Trif M, Rusu A, Simat V, Cagalj M, Alak G, Meral R, Ozogul Y, Polat A, Ozogul F (2021) Recent advances in industrial applications of seaweeds. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1–30.

Samarathunga J, Wijesekara I, Jayasinghe M (2022) Seaweed proteins as a novel protein alternative: types, extractions, and functional food applications. *Food Rev. Int.* 1–26.

Schmidt RE (2005) biostimulants function in turfgrass nutrition. phd emeritus virginia tech. *Scientia Horticulturæ*, *Biostimulants in Horticulture* 196, 3–14.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

Shah MT, Zodape ST, Chaudhary DR, Eswaran K, Chikara J (2013): Seaweed sap as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. *J. Plant Nutr.* 36:192–200.

Smirnoff N, (1995) Antioxidant systems and plant response to the environment. In N. Smirnoff (Ed.). *Environment and plant metabolism: Flexibility and acclimation* (pp. 217–243). Oxford. UK: BIOS Scientific Publishers Ltd.

Tussenbroek V (2020) El problema del sargazo [online]. Instituto de Ingeniería UNAM, <http://www.ii.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Gaceta/Gaceta-Enero-Febrero-2020/Paginas/sargazo.aspx>

Verma N, Sehrawat AR, Pandey D, Pandey BK (2020) Seaweed: a novel organic biomaterial. *Curr J Appl Sci Technol* 39:1–8. <https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i1430690>

Via M, Abdillah A A, Alamsjah M A (2019) Physics and Chemical Characteristics of Sargassum Sp. Seaweed with Addition of Sodium Alginate Stabilizer to Different Concentrations. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 236, No. 1, p. 012128). IOP Publishing.

Wang M, Hu C, Barnes B, Mitchum G, Lapointe B, Montoya J (2019) The Great Atlantic Sargassum belt. *Science*, 365: 83–87. <http://doi.org/10.1126/science.aaw7912>

Zhang X, Schmidt RE (2000) Hormone-containing products' impact on antioxidant status of tall fescue and creeping bentgrass subjected to drought. *Crop Science*. v.40. pp 1344–1349.

Zhang X, Ervin EH, Schmidt RE (2003) Seaweed extract humic acid, and propiconazole improve tall fescue sod heat tolerance and posttransplant quality. *HortScience* 38: 440–443.



FITORREMEDIACIÓN DE METALES PESADOS EN AMBIENTES CONTAMINADOS: UNA REVISIÓN.

Daniel Santos Ubaldo, Raúl J. Delgado Macuil, Angélica Romero Rodríguez, Andrés Castro Sierra

Centro de investigación en Biotecnología Aplicada CIBA-IPN. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México.

dsantosu1900@alumno.ipn.mx

RESUMEN

Los metales pesados son una gran amenaza para las plantas y los animales, debido a las actividades antropogénicas se han convertido en una preocupación primordial a nivel mundial. Se han desarrollado diferentes metodologías para eliminar la toxicidad de los metales, pero estas técnicas son costosas. Actualmente las investigaciones se centran en desarrollar nuevas tecnologías para la biorremediación que sean novedosas, de fácil aplicación, rentables y que no generen contaminantes para recuperar los ambientes con altos niveles de metales pesados. La fitorremediación es una técnica ecológica en la que se utilizan plantas para reducir las concentraciones de metales pesados en ambientes contaminados, estabilizando el suelo e inhibiendo la movilización de metales en las raíces y las hojas, todo esto con la asociación de microorganismos presentes en el suelo. Además de que esta técnica se realiza in situ, permite la disminución de costos en el transporte y el procesamiento de la muestra.

ABSTRACT

Heavy metals are a major threat to plants and animals, due to anthropogenic activities they have become a primary concern worldwide. Different methodologies have been developed to eliminate metal toxicity, but these techniques are expensive. Currently, research focuses on developing new technologies for bioremediation that are novel, easy to apply, profitable and do not generate contaminants, to recover environments with high levels of heavy metals. Phytoremediation is an ecological technique in which plants are used to reduce the concentrations of heavy metals in contaminated environments, stabilizing the soil and inhibiting the mobilization of metals in the roots and leaves, all with the association of microorganisms present in the soil. In addition to the fact that this technique is performed in situ, it allows for reduced costs in transportation and sample processing.

Palabras Clave: Metales pesados, fitorremediación, plantas, contaminación

I. INTRODUCCIÓN

La superficie terrestre es rica en minerales y nutrientes, de los metales que se han identificado 23 de estos son considerados “metales pesados” elementos con un peso molecular comúnmente entre 63.5-200.6 g mol⁻¹ y densidad mayor a 5 g cm⁻³, lo que los hace muy tóxicos y difíciles de eliminar de los ambientes contaminados (Shadman et al., 2019; Velusamy et al., 2022). A nivel mundial la contaminación por metales pesados aumenta diariamente,

las actividades como la minería, la agricultura, la industria y los residuos de las zonas urbanas generan gran cantidad de residuos combinados con metales pesados, Figura 1 (Karthik et al., 2021; Pouresmaeli et al., 2022). Naturalmente las plantas requieren de bajas cantidades de algunos metales pesados como Zn²⁺, Mn²⁺, Fe²⁺, Cu²⁺, para su crecimiento y desarrollo, estos elementos también desempeñan un papel importante en varios procesos fisiológicos, como el sistema de transferencia de electrones en la fotosíntesis, la respiración y actúan como activadores de muchas enzimas conjugadas, sin embargo, altos niveles pueden resultar tóxicos (Kassim et al., 2022; Patra et al., 2020). Por otro lado, algunos metales como Pb²⁺, Hg²⁺, As³⁺ y Cd²⁺ son considerados tóxicos inclusive en bajas concentraciones lo que puede considerarse como un riesgo grave para las plantas y en general para los seres vivos Figura 2 (Chávez, 2011; Malikula et al., 2022). Los principales mecanismos de los metales pesados en los organismos es la liberación de radicales libres, inhibición enzimática, lesión celular, apoptosis, destrucción del ácido desoxirribonucleico (ADN) y el cambio conformacional de las proteínas (Velusamy et al., 2022). En las plantas a través del sistema radicular que está en contacto con el suelo y el agua, los metales se acumulan en los tejidos de los organismos vivos lo que resulta en bioacumulación. En los animales pueden entrar a través de los alimentos y el agua aumentando sus concentraciones a medida que pasan de los niveles tróficos inferiores a superiores a este fenómeno se le conoce como biomagnificación (Ahmed et al., 2019; Ali, Khan, & Anwar, 2013; Jan et al., 2015). Muchos grupos de trabajo han realizado esfuerzos en reducir la toxicidad de los metales pesados en los ambientes contaminados (Ghuge et al., 2023), sin embargo, son técnicas muy costosas; como un enfoque alternativo la fitorremediación se propone como un método apropiado para la descontaminación y restauración de sitios contaminados con metales pesados, este tipo de tecnologías constan de diferentes pasos fitoextracción, rizofiltración, fitovolatilización y fitoestabilización. Se deben seleccionar plantas con el potencial para descontaminar el suelo y el agua mediante actividad de fitoacumulación, depositando los metales en los sitios rizosféricos, estabilizándolos en la rizosfera y posteriormente translocándolos a las partes aéreas. La biomasa contaminada se recolecta cuando las plantas están maduras.

En consecuencia, los contaminantes se eliminan de los suelos. La biomasa contaminada generalmente se destruye o se convierte en abono o rara vez se reprocesa para su uso posterior (Patra et al., 2020). El presente artículo es una revisión bibliográfica de los métodos de remediación convencionales de suelos contaminados con metales pesados haciendo énfasis en la fitorremediación como técnica alternativa para una biorremediación de bajo costo y amigable con el medio ambiente.

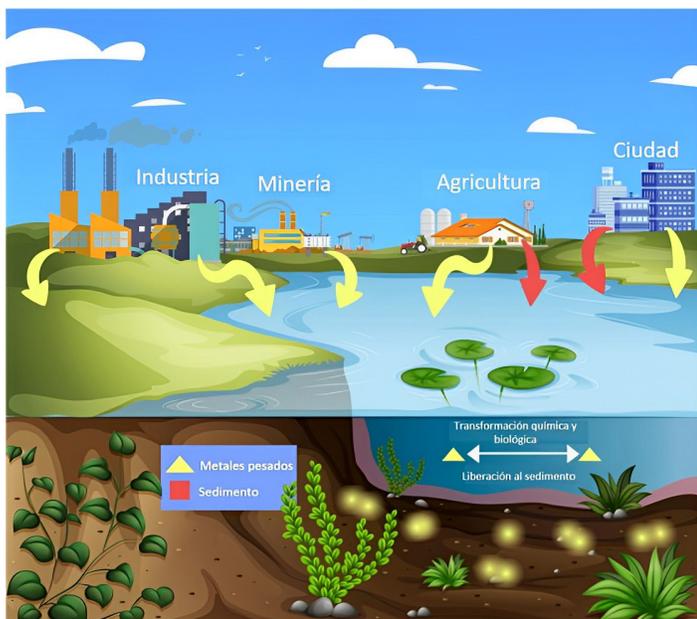


Figura 1. Los metales pesados en el medio ambiente. Modificado de (Mitra et al., 2022).

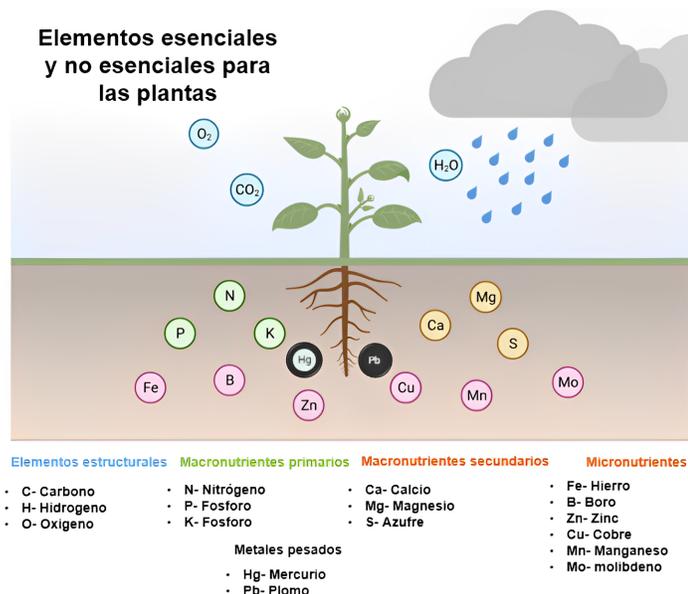


Figura 2. Los elementos esenciales y no esenciales para las plantas (elaboración propia).

2. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL SUELO Y EL AGUA

Los metales pesados están presentes en el suelo, el agua, el aire y los alimentos en forma de hidróxidos, óxidos, sulfatos, fosfatos, silicatos y compuestos orgánicos. Los metales pesados se introducen en el medio ambiente principalmente mediante procesos naturales y antropogénicos. Existen diferentes fuentes de liberación de los metales pesados naturales y artificiales. Las fuentes naturales son la lixiviación, la erosión de rocas, incendios forestales, las inundaciones y las erupciones volcánicas (Velusamy et al., 2022). Por otro lado, los procesos antropogénicos son la principal

causa de contaminación por metales pesados, i) por la deposición de las partículas atmosféricas por la combustión de combustóleo, gasolinas y diésel, ii) eliminación de lodos y efluentes de depuradora, por ejemplo, industrias, emisiones de minería y automóviles; iii) los metales pesados del suelo y del aire finalmente también se descargan en los cuerpos de agua a través de la lluvia Figura 3. Cuando se exponen a la luz solar, los metales pesados presentes en el vapor de agua se mezclan con el aire que llega a la tierra durante la precipitación, se deposita en el suelo y los metales se escurren del suelo hacia los diferentes cuerpos de agua, como ríos, mares y lagos (Mohamed et al., 2022).

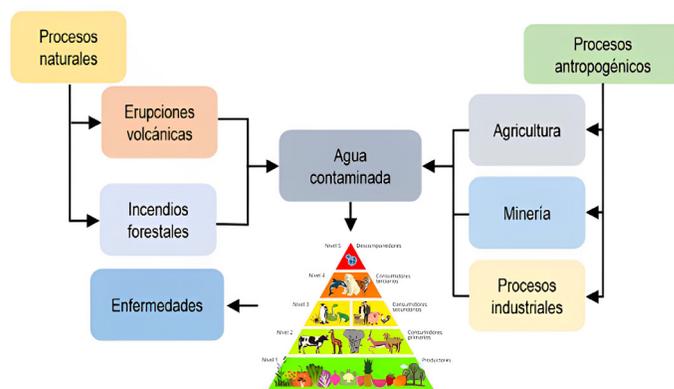


Figura 3. Diferentes fuentes de contaminación natural y antropogénica. Modificado de (Velusamy et al., 2022).

3. MÉTODOS CONVENCIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO

El suelo tiene la capacidad de filtrar los contaminantes inclusive a los metales pesados, pero cuando se tiene un problema de contaminación muy severa este ya no es capaz de filtrarlos y lo hace de forma gradual permitiendo así que estos se propaguen y causen un efecto negativo en la salud. Esta problemática ha sido un tema social y político a nivel mundial. Los procesos de remediación para la limpieza de ambientes contaminados puede ser in situ o ex situ, físicos, químicos y biológicos, algunas veces se utilizan en combinación para tener una remediación más económica y eficiente del sitio contaminado, las técnicas de remediación físicas incluyen el reemplazo del suelo, el aislamiento del suelo, la vitrificación y la remediación electrocinética, las técnicas de remediación químicas comprenden a las técnicas de inmovilización, la encapsulación y el lavado de suelos, las técnicas de remediación biológicas se incluyen la fitorremediación donde se implementan varias técnicas como la fitovolatilización, la Fitoestabilización, la fitoextracción, en las tablas 1, 2 y 3 se muestran las características ventajas, desventajas y aplicación (Kaur et al., 2022; Lombi & Hamon, 2005). Estas tecnologías además de ser altamente eficientes algunas veces presentan la desventaja de tener altos costos de operación.

Tabla 1 Métodos de remediación física (modificado de Khalid et al., 2017).

Técnicas	Descripción	Ventajas	Desventajas	Aplicación
Remediación física Reemplazo de suelo	Excavación del suelo contaminado y se reemplaza con suelo no contaminado.	Eficaz para sitios altamente contaminados.	Producción de residuos peligrosos.	Limitado a suelos altamente contaminados.
Aislamiento de suelo	Se aísla el suelo contaminado del suelo no contaminado mediante barreras subterráneas.	Previene el transporte de metales pesados fuera del sitio contaminado.	Costosa y aún necesita más métodos de remediación.	Pequeña escala y de corto a largo plazo.
Vitrificación	Reducción de la biodisponibilidad del metal mediante la formación de material vítreo a alta temperatura.	Fácil aplicación se pueden remediar una variedad de contaminantes.	Altos costos debido al requerimiento de energía.	Pequeña escala a largo plazo.
Remediación electrocinética	Eliminación del suelo mediante electroforesis o electromigración mediante la aplicación de voltaje.	Fácil aplicación económicamente eficaz, no altera la naturaleza del suelo.	Requiere suelo con baja permeabilidad, es necesario controlar pH.	Pequeña escala, pero a largo plazo.

Tabla 2 Métodos de remediación química (modificado de Khalid et al., 2017).

Técnicas	Descripción	Ventajas	Desventajas	Aplicación
Remediación Química Inmovilización	Reducción de la movilidad del metal mediante la enmienda inmovilizadora y la formación de complejos estables e inmóviles mediante adsorción.	Aplicación rápida y sencilla se pueden remediar un gran número de metales pesados.	Es necesaria una solución temporal y un seguimiento permanente.	Pequeña a mediana escala y a corto plazo.
Lavado de suelos	Eliminación de metales pesados mediante extractantes (orgánicos e inorgánicos), formación de complejos estables y móviles.	Elimina completamente los metales.	Los extractantes del lavado pueden causar problemas ambientales.	Pequeña escala, pero puede ser a largo plazo.
Encapsulación	Inmovilización de metales pesados mediante bloques sólidos manejables.	Altamente eficiente y efectivo.	Altos costos, parches aleatorios de asfalto y concreto.	Pequeña escala y corto plazo.

Tabla 3 métodos de remediación biológica (modificado de Khalid et al., 2017).

Técnicas	Descripción	Ventajas	Desventajas	Aplicación
Remediación Biológica Fitovolatilización	Captación de metales pesados del suelo por parte de las plantas y liberación en forma de vapor a la atmósfera.	Económico y menos disruptivo.	Restringido a metales volátiles, puede causar otros problemas ambientales, no hay control después de la liberación del metal a la atmósfera.	De pequeña a mediana escala y a largo plazo.
Fitoestabilización	Uso de plantas para disminuir la biodisponibilidad y movilidad de los metales en los suelos mediante el secuestro en las raíces de las plantas.	Económico, menos disruptivo.	Solución temporal, la efectividad varía según el tipo de suelo, planta y metal.	De pequeña a mediana escala y a corto plazo.
Fitoextracción	Uso de plantas hiperacumuladoras para absorber, trasladar y concentrar metales pesados del suelo a las partes de plantas cosechables sobre el suelo.	Altamente económico, ecológico, menos disruptivo.	La eficacia depende de las condiciones de crecimiento, la tolerancia de la planta y la biodisponibilidad de los metales en el suelo. Las plantas de acumulación de metales son generalmente muy pocas.	A gran escala y a largo plazo.

4. FITORREMEDIACIÓN DE AMBIENTES CONTAMINADOS CON METALES PESADOS

La biorremediación es una de las opciones más viables para restablecer la condición natural del suelo mediante el uso de microorganismos y plantas para desintoxicar o eliminar metales pesados es una tecnología rentable, no invasiva y proporciona una solución permanente.

4.1 Fitorremediación

La fitorremediación, conocida como botanoremediación, remediación vegetativa, remediación verde o agrorremediación, está basada en el uso de plantas para remediar y revegetar sitios contaminados con metales pesados, el concepto de utilizar plantas acumuladoras de metales pesados se presentó por primera vez en 1983. Considerada una tecnología respetuosa con el medio ambiente, energéticamente eficiente y rentable para limpiar sitios con niveles bajos a moderados de metales pesados esta técnica se ha ido consolidando al grado de aplicarse en la industria mostrando resultados muy prometedores (Ghughe et al., 2023). Para realizar correctamente la fitorremediación se debe hacer un análisis de las propiedades del suelo para así establecer las propiedades químicas y físicas; con la finalidad de evitar demandas sociales, saber la naturaleza de la contaminación, es decir que contaminante se encuentra

presente y establecer su grado de toxicidad, de que fuente surgió la contaminación, los riesgos que puede ocasionar, las condiciones climáticas del área, uso de la tierra, límites de tiempo, aceptación de la comunidad y costos requeridos (Pouresmaeli et al., 2022). Las plantas utilizadas para realizar la fitorremediación deben ser de rápido crecimiento, poseer abundante biomasa, raíces extensas, fáciles de cosechar, fibrosas, fáciles de manipular y que sean altamente tolerantes a los metales pesados (Timalsina et al., 2022). Debido a la naturaleza de los metales, estos no pueden ser descompuestos ni degradados, pero se pueden transformar a un estado de oxidación menos dañino; además podemos calcular la cantidad de metales absorbidos por la planta multiplicando la concentración de contaminantes en tejido de la planta por la cantidad de biomasa formada (Bhargava et al., 2012). Los mecanismos de captación y translocación de los metales pesados varía debido a elementos presentes en el suelo, afectando su enlace con otras macromoléculas, además, factores como la materia orgánica, el pH, la conductividad eléctrica, el potencial redox y la naturaleza catiónica de los metales son atraídos por grupos carboxílicos aniónicos acumulándose en la membrana plasmática facilitando el movimiento hacia el interior de la célula, la mayoría de los metales se absorben pasivamente mediante difusión y flujo de masa a través de la raíz y se secretan en forma de exudados radiculares en el suelo. Metales como el cobre y el zinc se logra mediante procesos regulatorios a través de un sistema bifásico dependiente de ATP y utilizando transportadores de zinc. Procesos activos absorben cromo y plomo acomplejándolos en los exudados radiculares o a través de canales de transporte de calcio. Las hojas también absorben metales como mercurio en forma gaseosa. La absorción de metales pesados se produce a través de las vías de apoplasto y simplasto utilizando varios canales iónicos y transportadores de metales en las raíces, seguido de una mayor translocación a las partes comestibles de la planta a través del xilema y el floema. Los metales penetran el xilema mediante el movimiento simplástico debido al gradiente electroquímico generado mediante la membrana plasmática (Ghughe et al., 2023; Hameed et al., 2016).

4.1.1 Fitoextracción

La fitoextracción es una técnica in situ, amigable con el medio ambiente, es un método comúnmente utilizado para la eliminación de metales en suelos y aguas contaminadas, es mucho más factible que los métodos fisicoquímicos, el nivel de éxito depende de las cantidades de metales presentes en el sitio ya que de eso depende la cantidad de metales que va a absorber la planta. La selección de la planta juega un papel muy importante ya que tiene que ser una planta hiperacumuladora de metales, algunas especies como *Sedum alfredii*, *Phytolacca americana*, *Thlaspi caerulescens* entre otras pueden acumular en sus brotes hasta >100 mg Kg⁻¹ en la materia seca (Wang et al., 2023). Como resultado, es más adecuado para uso comercial e implica la

siguiente secuencia de procesos : (i) Movilización de metales pesados en la rizósfera, (ii) Absorción por las raíces de las plantas, (iii) iones de metales pesados, translocación de las raíces a las porciones aéreas de la planta, (iv) secuestro y compartimentación de iones de metales pesados en tejidos vegetales figura 4 y es aplicable para la eliminación de metales como Ag, Co, Cu, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Mo, Mn, Zn, As y Se, así como no metales como Boro y radionúclidos como Sr, Cs, y U. Plantas como *Viola baoshanensis*, *Sedum alfredii* y *Rumex crispus* (Jacob et al., 2018). (González et al., 2011) se puede utilizar la fitoextracción para la remediación de plomo con *Brassica juncea* en sitios cuyo nivel de plomo es menor a 1500 mg/kg. Otro ejemplo importante es *Sedum alfredii* (Crassulaceae) recientemente ha ganado mayor atención como hiperacumulador multimetalico Zinc, plomo y cadmio con un nivel que alcanza alrededor del 2% de peso en los brotes (Khalid et al., 2017). Figura 4

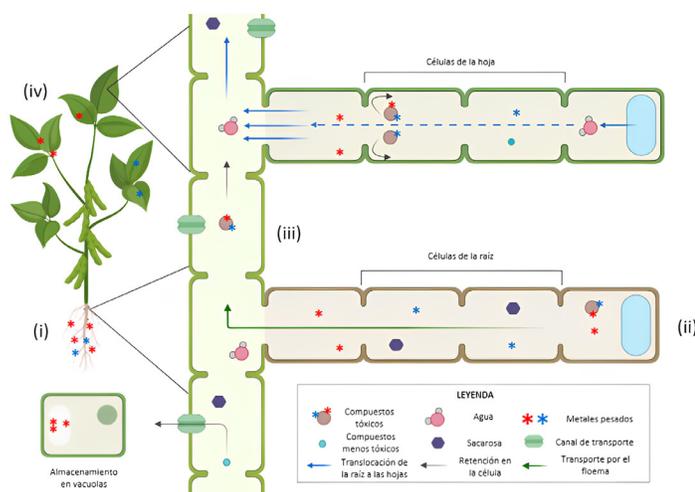


Figura 4. Fitorremediación de ambientes contaminados con metales pesados (modificado de Ghuge et al., 2023).

4.2. Rizofiltración

Esta técnica se utiliza para la eliminación de metales tóxicos de ecosistemas acuáticos y terrestres mediante técnicas de adsorción. Se utilizan tanto hidrófitos como mesófitos, pero el más preferible es el mesófito porque tiene un sistema de raíces extenso y fibroso. También se puede aplicar para la eliminación de elementos radiactivos de sitios contaminados. Las técnicas de rizofiltración se pueden utilizar con éxito en Chernobyl, Ucrania, para la eliminación de cesio y estroncio. La ventaja de esta técnica es la transferencia de metales al sitio rizosférico y su posterior translocación a las partes aéreas de las plantas (Patra et al., 2020; Zhang et al., 2010).

4.3. Fitoestabilización

La fitoestabilización es el mecanismo por el cual las plantas restringen la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes por inmovilización (Ansari et al., 2015). La fitoestabilización evita que los metales pesados se acumulen en la biota y se filtren en las aguas subterráneas. Especies de plantas como *Anthyllis vulneraria* y *Festuca arvensis* se

utilizan para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el suelo (Wani et al., 2017).

4.4. Fitofiltración

La fitofiltración se refiere a la eliminación de contaminantes del agua superficial por parte de las plantas en donde los contaminantes son adsorbidos, limitando su flujo al agua subterránea (Ali, Khan, & Sajad, 2013). Abarca la rizofiltración (usando raíces), la blastofiltración (usando plántulas) o la caulofiltración (usando brotes). La rizofiltración es el mecanismo de eliminación de contaminantes en aguas superficiales, aguas subterráneas extraídas o aguas residuales a través de la adsorción o precipitación de los contaminantes en las raíces de ciertas plantas. La rizosfera de la planta o los exudados de las raíces pueden crear entornos biogeoquímicos, lo que da como resultado la precipitación de contaminantes en las raíces. Las briófitas acuáticas como *Monosoleum tenerum* y *Eichhornia crassipes* son plantas novedosas de rápido crecimiento para la remediación de Zn, Cu, Ni, Mn, Fe y Cd mediante fitofiltración (Timalsina et al., 2022).

Diversos trabajos han demostrado la eficacia de estas tecnologías González y colaboradores probaron un quelato biodegradable para mejorar la fitoextracción de cobre por *Oenothera picensis* para remediar suelos contaminados con cobre, utilizando un experimento ex situ el quelato biodegradable (ácido metilglicinadiacético) MGDA se aplicó en cuatro dosis: 0 (control), 2, 6 y 10 mmol de planta-1. La aplicación de MGDA aumentó significativamente la producción de biomasa y la concentración foliar, permitiendo un aumento efectivo en la extracción de cobre, de 0.09 mg planta-1 en el control, a 1.3 mg planta-1 en los tratamientos de 6 y 10 mmol planta-1. Con una tasa de MGDA de 10 mmol planta-1 la concentración de cobre en el lixiviado de las columnas de 30 cm fue 20 veces mayor que en el control. Para las columnas de 60 cm, la concentración de cobre fue 2 veces mayor que la del control (González et al., 2011). Wu y colaboradores probaron la achicoria *Cichorium intybus* L. para remediar sitios contaminados con cadmio los experimentos hidropónicos y en maceta mostraron que la concentración final de cadmio en las hojas de achicoria fue de 100 mg kg-1 en maceta y demostraron que no había efectos significativos sobre el crecimiento de la achicoria, concluyendo que esta planta podría aliviar la toxicidad del cadmio en sitios perturbados con altas concentraciones de este metal pesado (Wu et al., 2023).

5. CONCLUSIÓN

La contaminación por metales pesados es una preocupación crítica para la producción agrícola y la seguridad alimentaria debido a sus efectos tóxicos y su rápida deposición en el medio ambiente. Es esencial determinar el estándar mínimo y máximo de metales pesados para el agua de

riego y las tierras agrícolas, ya que los metales pesados son micronutrientes esenciales para las plantas, pero tóxicos cuando se exponen a los seres vivos a límites más altos. La fitorremediación se considera un enfoque prometedor para la revegetación de suelos contaminados con metales pesados, con un alto nivel de aceptación pública y varios beneficios sobre otros tratamientos fisicoquímicos. Sin embargo, considerando ciertas limitaciones de las técnicas tradicionales de fitorremediación, como la larga duración de la limpieza de los sitios contaminados, la lenta tasa de crecimiento de los hiperacumuladores y la limitada producción de biomasa, los métodos de mejora son esenciales para una fitorremediación eficiente. Además, para que los metales pesados sean fácilmente absorbidos por la planta se requiere el uso de algunas técnicas como la ingeniería genética y el uso de microbios para mejorar la disponibilidad de los metales pesados en un futuro deberían tomarse en cuenta al momento de elegir un método para la fitorremediación adecuado.

6. Agradecimientos

Al CONAHCyT por la beca otorgada con número de registro 896752 a la SIP-IPN por el apoyo otorgado mediante el proyecto SIP-20230938.

7. Referencias

Ahmed, S., Shaikh, N., Pathak, N., Sonawane, A., Pandey, V., & Maratkar, S. (2019). An overview of sensitivity and selectivity of biosensors for environmental applications. In *Tools, Techniques and Protocols for Monitoring Environmental Contaminants*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814679-8.00003-0>

Ali, H., Khan, E., & Anwar, M. (2013). Chemosphere Phytoremediation of heavy metals — Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>

Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>

Ansari, A. A., Gill, S. S., Gill, R., Lanza, G. R., & Newman, L. (2015). Phytoremediation: Management of environmental contaminants, volume 2. *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 2*, 2, 1–366. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10969-5>

Bhargava, A., Carmona, F. F., Bhargava, M., & Srivastava, S. (2012). Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Journal of Environmental Management*, 105, 103–120. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.002>

Chávez, C. (2011). Detección de metales pesados en agua. *Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica*, 0, 51–54. <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/>

[bitstream/1009/671/1/ChavezVC.pdf](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131039)

Ghugre, S. A., Chandrakant, G., Sopanrao, U., Suprasanna, P., & Chan, J. (2023). Comprehensive mechanisms of heavy metal toxicity in plants, detoxification, and remediation. *Journal of Hazardous Materials*, 450(December 2022), 131039. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131039>

González, I., Cortes, A., Neaman, A., & Rubio, P. (2011). Chemosphere Biodegradable chelate enhances the phytoextraction of copper by *Oenothera picensis* grown in copper-contaminated acid soils. 84, 490–496. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.015>

Hameed, A., Rasool, S., Azooz, M. M., Hossain, M. A., Ahanger, M. A., & Ahmad, P. (2016). HEAVY METAL STRESS : PLANT. In *Plant Metal Interaction*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00024-2>

Jacob, J. M., Karthik, C., Saratale, R. G., Kumar, S. S., Prabakar, D., Kadirvelu, K., & Pugazhendhi, A. (2018). Biological approaches to tackle heavy metal pollution: A survey of literature. *Journal of Environmental Management*, 217, 56–70. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.077>

Jan, A. T., Azam, M., Siddiqui, K., Ali, A., & Choi, I. (2015). Heavy Metals and Human Health : Mechanistic Insight into Toxicity and Counter Defense System of Antioxidants. 29592–29630. <https://doi.org/10.3390/ijms161226183>

Karthik, V., Periyasamy, S., J. B. I., & Temesgen, T. (2021). Restoration of Contaminated Agricultural Soils. Springer, 381–401.

Kassim, N. S. A., A. I. S. M. Ghazali, S., Liyana Bohari, F., & A. Z. Abidin, N. (2022). Assessment of heavy metals in wastewater plant effluent and lake water by using atomic absorption spectrophotometry. *Materials Today: Proceedings*, xxxx, 10–13. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.671>

Kaur, K., Chandra, L., Kant, C., & Kumar, M. (2022). Current Research in Microbial Sciences Perspective on the heavy metal pollution and recent remediation strategies. *Current Research in Microbial Sciences*, 3(September), 100166. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100166>

Khalid, S., Shahid, M., Khan, N., Murtaza, B., Bibi, I., & Dumat, C. (2017). A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 247–268. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.021>

Lombi, E., & Hamon, R. E. (2005). *Lombi, Hamon 2005.pdf. Remediation of Polluted Soils*, 379–385.

Malikula, R. S., Kaonga, C. C., Mapoma, H. W. T., Chiipa, P., & Thulu, F. G. D. (2022). Heavy Metals and Nutrients Loads in Water, Soil, and Crops Irrigated with Effluent from WWTPs in Blantyre City, Malawi. *Water (Switzerland)*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/w14010121>

- Mohamed, B. A., Fattah, I. M. R., Yousaf, B., & Periyasamy, S. (2022). Effects of the COVID - 19 pandemic on the environment , waste management , and energy sectors : a deeper look into the long - term impacts. *Environmental Science and Pollution Research*, 46438–46457. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20259-1>
- Patra, D. K., Pradhan, C., & Patra, H. K. (2020). Environmental Technology & Innovation Toxic metal decontamination by phytoremediation approach : Concept , challenges , opportunities and future perspectives. *Environmental Technology & Innovation*, 18, 100672. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100672>
- Pouresmaeli, M., Ataei, M., Forouzandeh, P., Azizollahi, P., & Mahmoudifard, M. (2022). Recent progress on sustainable phytoremediation of heavy metals from soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108482. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108482>
- Shadman, S. M., Daneshi, M., Shafiei, F., Azimimehr, M., Khorasgani, M. R., Sadeghian, M., Motaghi, H., & Mehrgardi, M. A. (2019). Aptamer-based electrochemical biosensors. In *Electrochemical Biosensors*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816491-4.00008-5>
- Timalsina, H., Gyawali, T., Ghimire, S., & Paudel, S. R. (2022). Potential application of enhanced phytoremediation for heavy metals treatment in Nepal. *Chemosphere*, 306(May), 135581. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135581>
- Velusamy, K., Periyasamy, S., Kumar, P. S., Rangasamy, G., Nisha, J. M., Ramaraju, P., Mohanasundaram, S., & Vo, D. N. (2022). Biosensor for heavy metals detection in wastewater : A review. *Food and Chemical Toxicology*, 168(May), 113307. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113307>
- Wang, Y., Zhou, T., Wang, W., Zhao, J., Li, Z., Ge, Y., Wang, Z., Wu, L., & Christie, P. (2023). Science of the Total Environment Phytoextraction of highly cadmium-polluted agricultural soil by *Sedum plumbizincicola* : An eight-hectare field study. *Science of the Total Environment*, 905(July), 167216. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167216>
- Wani, R. A., Ganai, B. A., Shah, M. A., & Uqab, B. (2017). Heavy Metal Uptake Potential of Aquatic Plants through Phytoremediation Technique - A Review. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 08(04). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000404>
- Wu, S., Yang, Y., Qin, Y., Deng, X., & Zhang, Q. (2023). *Cichorium intybus* L . is a potential Cd-accumulator for phytoremediation of agricultural soil with strong tolerance and detoxification to Cd. *Journal of Hazardous Materials*, 451(March), 131182. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131182>
- Zhang, S., Chen, M., Li, T., Xu, X., & Deng, L. (2010). A newly found cadmium accumulator — *Malva sinensis* Cavan . 173(August 2007), 705–709. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.142>



La Revista

FRONTERA

Biotechnológica

Abre sus puertas a la excelencia académica
con un especial dedicado a las

MEMORIAS

XXVI Jornadas Académicas del

Doctorado en Ciencias en Biotecnología-IPN

18 al 20 de octubre 2023

CDMX



INDICE MEMORIAS

TITULO	AUTORES	PÁGINA
OPTIMIZACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE COMPUESTOS β -BLOQUEADORES EN AGUA MEDIANTE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA: FOTÓLISIS Y FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA SOLAR Y UV.	Irma Carolina Torrecillas Rodríguez, José B. Proal Nájera	31
MEJORA DEL DESEMPEÑO DE UN HUMEDAL EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES USANDO LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)	Alan Garduño Montero, Celestino Odín Rodríguez Nava	33
DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN DIVERSAS MATRICES DE ORIGEN MARINO EN LA LAGUNA DE LA PAZ BAJA CALIFORNIA SUR	Daniel Santos Ubaldo, Raúl Jacobo Delgado Macuil, Valentín López Gayou, Mauricio Muñoz Ochoa.	35
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	37
ESTUDIO DE LOS FACTORES DE MODULACIÓN DEL METABOLISMO DE <i>Bacopa procumbens</i> EN LA ACUMULACIÓN Y COMPOSICIÓN DE METABOLITOS SECUNDARIOS CON ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA Y REDUCTORA DE NANOMATERIALES.	Elizabeth Vargas Anaya, Raúl Jacobo Delgado Macuil, Flor de Fátima Rosas Cárdenas, María del Carmen Avelino Flores, Alejandro Zamilpa Álvarez, Valentín López Gayou Valentín	39
ESTUDIO ÓMICO DE MOLÉCULAS ASOCIADAS A QUÓRUM SENSING EN UN CONSORCIO BACTERIANO CON POTENCIAL PARA LA DEGRADACIÓN DE MICROPARTÍCULAS DE PET	Raquel Rodríguez Gutiérrez, Diana Verónica Cortés Espinosa	41
DESARROLLO DE UN BIOSENSOR COLOIDAL PARA LA DETECCIÓN DE METALES PESADOS	Nina Torres Valencia, Valentín López Gayou, Manasés González Cortazar, Raúl Jacobo Delgado Macuil, Orlando Zaca Morán.	43
EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PARED CELULAR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL, EN CURVAS DE CRECIMIENTO DE GRAMÍNEA C4 Y FRECUENCIAS DE CORTE EN GRAMÍNEA C3	José Agustín Pacheco-Ortiz, Rigoberto Castro-Rivera, Francisco Roberto Quiroz-Figueroa, Gisela Aguilar Benítez, María Myrna Solís Oba, Valentín López-Gayou, Brenda Yanin Azcárraga-Salinas, Andres Castro Sierra	45
PRODUCCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS BIOPOLÍMEROS PRODUCIDOS POR MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA RÍA LAGARTOS (YUCATÁN, MÉXICO)	Eduardo Quitzé Vivanco Núñez, Blanca Estela Barragán Huerta	47
EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS GENERADOS EN LA FABRICACIÓN DEL MEZCAL	Ma. del Refugio Hernández López, Blanca Estela Barragán Huerta, Iván Moreno Andrade, Juan Manuel Viguera Cortés, Marco Antonio Garzón Zúñiga	49
CARACTERIZACIÓN GENÉTICA, HISTOLÓGICA, FISIOLÓGICA Y QUÍMICA DE PLANTAS POLIPLÓIDES DE ARÁNDANO EN EL CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO	Alejandra María Araujo Heraldez, Jesús Lucina Romero Romero	51



TÍTULO

AUTORES

PÁGINA

TÍTULO	AUTORES	PÁGINA
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EMPLEANDO BIOINDICADORES Y SENSORES EN LA CIUDAD DE DURANGO, MÉXICO	Sofía Lizeth De Casas Reyes, Isaías Chairez Hernández	53
IDENTIFICACIÓN DE ENZIMAS DEGRADADORAS DE PET Y SU EXPRESIÓN EN <i>Pseudomonas SP</i> (P1)	Ana Sofía, Fierros Peña, Ninfa M. Rosas-García	55
DIRECCIONAMIENTO DEL METABOLISMO DE <i>Leclercia adecarboxylata</i> HACIA LA SOBREPDUCCIÓN DE BIOSURFACTANTES	David Israel Ríos Vázquez, Diana Verónica Cortés Espinosa	57
PRODUCCIÓN DE FITORREGULADORES A PARTIR DE ESTIÉRCOLES BOVINOS Y PORCINOS MEDIANTE DIGESTIONES ANAEROBIAS	Andres Castro-Sierra, María Myrna Solís-Oba, Teodoro Espinosa-Solares, Eric Houbbron, Angélica Romero-Rodríguez, Ana Rosa Sánchez@Camarillo	59
CRECIMIENTO, CALIDAD Y RENDIMIENTO DEL TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) BAJO DIFERENTES ESQUEMAS DE FERTILIZACIONES ORGÁNICO-MINERAL.	Angélica Romero-Rodríguez, María Myrna Solís Oba, José Agustín Pacheco Ortíz, Javier Ruiz Romero	61
RESISTOMA Y FILOGENIA DE <i>Listeria monocytogenes</i> AISLADA DE ALIMENTOS DE REYNOSA, TAMAULIPAS	Gabriela Paulina Guel García, Ana Verónica Martínez Vázquez	63
EFECTO PROTECTOR DE EXTRACTOS FENÓLICOS DE CÁSCARA DE NUEZ (<i>Carya illinoensis</i>) EN PLÁNTULAS DE FRIJOL COMÚN (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) SOMETIDAS A ESTRÉS SALINO	Iliana Ivette Lozano Montelongo, Norma Almaraz Abarca	65
EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE UN FERTILIZANTE ORGANOMINERAL CON DIGESTATO SOBRE LA RIZOSFERA, EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE <i>Lolium perenne</i> L.	Karim Hassam Montalvo Aguilar, Rigoberto Castro Rivera, Carlos Ligne Calderón Vázquez	67
CARACTERIZACIÓN AGRO-MORFOLÓGICA, DIVERSIDAD GENÉTICA Y RESPUESTA AL ESTRÉS ABIÓTICO DE CINCO ESPECIES SILVESTRES DE FRIJOL DEL ESTADO DE DURANGO	Denisse Téllez Mazzocco, Yolanda Herrera Arrieta, Miguel M. Correa Ramírez, Marlon Rojas López y Kalina Bermúdez Torres	69
DINÁMICA DE EXPRESIÓN DE GENES IMPLICADOS EN LA REMODELACIÓN DE LA PARED CELULAR DEL FRUTO EN <i>Carica papaya</i>	Miguel Salvador-Adriano, Didiana Gálvez-López, Miguel Angel Reyes-López	71
FORMULACIONES A BASE DE <i>Bauveria bassiana</i> , <i>Isaria funmosorosea</i> y <i>Metarhizium anisopliae</i> PARA EL CONTROL DE <i>Trips SPP</i> EN ARÁNDANOS	Jesús Uriel Hernández Armenta, Cipriano García Gutiérrez	73
EVALUACIÓN DE TRES EXTRACTOS VEGETALES (<i>Tagetes erecta</i> , <i>Ricinus communis</i> Y <i>Cosmo bipinnatus</i>) COMO PLAGUICIDAS CONTRA LOS EFECTOS DE <i>Meloidogyne Sp.</i> EN <i>Solanum lycopersicum</i> USANDO ESPECTROSCOPIA VIBRACIONAL	Jeisel Delgado Flores, Raúl Jacobo Delgado Macuil, María Eugenia Jaramillo Flores	75



TÍTULO	AUTORES	PÁGINA
CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE GENOMAS DE CEPAS DE <i>Bdellovibrio</i> Y SU APLICACIÓN EN EL CONTROL BIOLÓGICO DE <i>Candidatus Liberibacter asiaticus</i> CAUSANTE DEL HLB EN <i>Citrus Latifolia Tanaka</i>	Cynthia Guadalupe Rodríguez Quibrera, Xianwu Guo Zhou, José Luis Hernández Mendoza	77
ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA CUTICULAR DE GENOTIPOS DE PAPAYA (<i>Carica papaya</i> L.) A <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Y <i>Colletotrichum truncatum</i> .	David Enrique Pérez-Leyva, Flor de Fátima Rosas-Cárdenas, María Elena Santos Cervantes	79
POTENCIAL BIOLÓGICO DE ACEITES ESENCIALES SOBRE <i>Dendroctonus</i> spp. Y LOS HONGOS ASOCIADOS AL PROCESO DE INFESTACIÓN DE <i>Pinus</i> spp.	Luis Mario Ayala-Guerrero, Aarón Mendieta-Moctezuma	81
ANÁLISIS TRANSCRIPTÓMICO DE LA INTERACCIÓN ENTRE LA LEVADURA <i>Meyerozym aguilliermondii</i> LCBG-03 Y EL HONGO FILAMENTOSO <i>Penicillium digitatum</i> DURANTE EL FENÓMENO DE BIOCONTROL	Eliud de la Cruz García, Claudia Patricia Larralde Corona, José Alberto Narváez Zapata	83
ANÁLISIS VOLATILÓMICO, TRANSCRIPTÓMICO Y METABOLÓMICO DE LA INTERACCIÓN DE LA HORMIGA DE FUEGO (<i>Solenopsis geminata</i>) SOBRE PLANTAS DE CHILE MANZANO (<i>Capsicum pubescens</i>).	Wendy Abril Coyotl Pérez, Flor de Fátima Rosas Cárdenas, Nemesio Villa Ruano, Silvia Luna Suárez	85
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	87
ESTUDIO DE LOS COMPONENTES DE <i>Hamelia patens</i> SOBRE <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i> : UN ABORDAJE METABOLÓMICO Y PROTEÓMICO	Daniel Jafet Valle Ortiz, Fabiola Eloísa Jiménez Montejo, Martha Rosales Castro, María del Carmen Cruz López, Diana Verónica Cortés Espinosa, Aarón Mendieta Moctezuma	89
CONTROL BIOLÓGICO DE <i>Gloveria</i> spp. PACKARD 1872 (<i>Lepidoptera: Lasiocampidae</i>) EN BOSQUES DE LA UMAFOR 1008, DURANGO	Mayra Amezcua Rojas, María Berenice González Maldonado	91
NANOENCAPSULACIÓN DEL EXTRACTO DE <i>Hypericum perforatum</i> CON QUITOSANO PARA EL BIOCONTROL DE ENFERMEDADES FÚNGICAS EN EL CULTIVO DE NOPAL (<i>Opuntia ficus-indica</i> L.)	Carolina Niño Martínez, Ma. de la Paz Salgado*, Gloria Dávila Ortiz	93
POTENCIAL DEL CULTIVO CELULAR <i>IN VITRO</i> PARA LA OBTENCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS BIOACTIVOS DE AGAVE DURANGENSIS	Heberto Iván Salas Ayala, José Antonio Ávila Reyes	95
ANÁLISIS DEL MODELO DE INTERACCIÓN TRIPARTITA MAÍZ-B25-FV: ESTUDIO DE EXPRESIÓN Y ACTIVIDAD DE QUITINASAS COMO MECANISMO DE DEFENSAS	Jesús Eduardo Cazares Álvarez, Ignacio Eduardo Maldonado Mendoza	97
DINÁMICA ESTRUCTURAL Y ACUMULATIVA DE CARBOHIDRATOS DE <i>Agave duranguensis</i> Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES FUNCIONALES	Shaila Nayeli Pérez Salinas, Rene Torres Ricario, Yolanda Herrera Arrieta	99
APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA ULTRASÓNICA PARA EL BLANQUEAMIENTO DE ACEITES VEGETALES COMESTIBLES	Alelhi del Carmen De Jesús Hernández, Héctor Ruiz Espinosa, Genaro Gustavo Amador Espejo, Raúl Jacobo Delgado Macuil	



TÍTULO	AUTORES	PÁGINA
OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE APTÁMEROS DE DNA CAPACES DE RECONOCER TROFOZOITOS DE <i>Entamoeba histolytica</i>	Alondra Cisneros Sarabia, Laurence A. Marchat, Juan David Ospina Villa, María Esther Ramírez Moreno, Mónica Ascención De Nova, Ocampo, César Augusto Sandino Reyes López	101
EVALUACIÓN DE RESERVORIOS AMBIENTALES DE CEPAS <i>Escherichia coli</i> PRODUCTORA DE β -LACTAMASAS DE ESPECTRO EXTENDIDO (BLEE) EN TAMAULIPAS	Mandujano-Hernández J. A., Cortés-Espinosa D., Martínez-Vázquez A. V.	103
DISEÑO Y OBTENCIÓN DE DERIVADOS SEMISINTÉTICOS CON ACTIVIDAD POTENCIAL ANTIPARASITARIA Y ANTIBACTERIANA.	Diana Victoria Navarrete Carriola, Michael P. Doyle, Gildardo Rivera	105
SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS MICROMÉTRICAS PARA LA INACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS EN PRESENCIA DE ANTIBIÓTICOS BETALACTÁMICOS	Tania Libertad Alcázar Medina, Ana Adela Lemus Santana, José B. Proal Nájera	107
MICROENCAPSULADOS DE <i>Dictyota dichotoma</i> Y <i>Bacillus</i> DEL PROCESO DE MUDA DE <i>Callinectes arcuatus</i>	Jose Alonso, Medina-Parra, Genaro, Diarte-Plata, Ruth, Escamilla-Montes, Antonio Luna-González, Magnolia Montoya-Mejía, María Elena Santos-Cervantes.	109
RELACIÓN DE POLIFENOLOS/PROTEÍNAS Y SU EFECTO SOBRE LA FUNCIONALIDAD DEL POLEN DE <i>Apis mellifera</i>	Nancy Nohemí Rodarte Rodríguez, José Antonio Ávila-Reyes.	111
ELABORACIÓN DE LIPOSOMAS TRANSPORTANDO MATERIA INSAPONIFICABLE E HIDROLIZADO DE PROTEÍNAS DE AMARANTO PARA EL TRATAMIENTO IN VITRO DE CÁNCER COLORRECTAL	Jorge Oswaldo Gutiérrez López, Gloria Dávila Ortiz, Erick Damián Castañeda Reyes	113
DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MATERIALES HÍBRIDOS A BASE DE POLÍMEROS Y MATERIALES ORGÁNICOS CON POSIBLE APLICACIÓN EN LA ENDODONCIA REGENERATIVA	Amairany Rodríguez Navarrete, Doris Atenea Cerecedo Mercado, Cesar Augusto Sandino Reyes López, Ivette Astrid Martínez Vieyra	115
ESTUDIO DEL EFECTO ANTIHIPERTENSIVO DE CHÍA Y AMARANTO	Hector Atonal Sánchez, Silvia Luna Suárez	117
BIOINGENIERÍA DE LA LEPTINA HUMANA Y OPTIMIZACIÓN DE SU PROCESO DE PRODUCCIÓN COMO ALTERNATIVA TERAPÉUTICA DE LA OBESIDAD Y COMORBILIDADES	Gabriel Ivan Ortega López, Víctor Eric López y López, Claudia Guadalupe Benítez Cardoza	119
GENOMIC AND ENZYMIC ANALYSIS OF MICROORGANISMS CAPABLE OF DEGRADING LOW-DEGRADING AND RECALCITRANT PLASTICS	Aminat Shokunbi, Ninfa María Rosas García	121
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 (<i>Penaeus vannamei</i>)	Nallely Michelle Panduro López, Pindaro Álvarez Ruiz	123



TÍTULO

AUTORES

PÁGINA

TÍTULO	AUTORES	PÁGINA
HISTORIA DE VIDA DE LA POBLACIÓN DE TORTUGA NEGRA (<i>Chelonia mydas agassizii</i>) EN EL SANTUARIO DE PLAYA COLOLA, MICHOACÁN, MÉXICO.	Cutzi Bedolla-Ochoa, Miguel Ángel Reyes-López, Hervey Rodríguez-González	125
EVALUACIÓN DE MICROALGAS COMO ADITIVOS EN ALIMENTOS BALANCEADOS EN DIFERENTES GENOTIPOS DE CAMARÓN BLANCO <i>Litopenaeus vannamei</i>	Brisia Lizbeth Puente Padilla, Hervey Rodríguez González	127
PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA DE CAMARÓN CON GENOTIPOS ENZIMÁTICOS MEJORADOS.	Isabel Martínez Rocha, Juan Carlos Sainz Hernández	129

MEMORIAS

XXVI Jornadas Académicas del Doctorado en Ciencias en Biotecnología-IPN



INVESTIGACIÓN +

POSGRADOS

- Maestría en Biotecnología Aplicada
- Maestría en Biotecnología Productiva
- Doctorado en Ciencias en Biotecnología
- Doctorado en Biotecnología Productiva



Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada

Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal

Tecuxcomac - Tepetitla K. 1.5, Tlaxcala, C.P. 90700, México

www.cibatlaxcala.ipn.mx