

# Biotecnología agropecuaria aplicada

Leandris Argentel-Martínez  
Ofelda Peñuelas-Rubio  
Lucila Perales-Aguilar  
Ugur Azizoglu  
Editores



Pantanal Editora

2024

**Leandris Argentel-Martínez**  
**Ofelda Peñuelas-Rubio**  
**Lucila Perales-Aguilar**  
**Ugur Azizoglu**  
Editores

# **Biotecnología agropecuaria aplicada**



Pantanal Editora

2024

Copyright© Pantanal Editora

**Editor Jefe:** Dr. Alan Mario Zuffo

**Editores Ejecutivos:** Dr. Jorge González Aguilera y Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

**Diseño:** El editor. **Diseño y arte:** el editor. Imágenes de portada y contraportada: Canva.com. **Reseña:** Autor(es), organizador(es) y editor.

### Consejo editorial

#### Grado académico y nombre

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos  
Prof. MSc. Adriana Flávia Neu  
Prof. Dra. Allys Ferrer Dubois  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior  
Prof. MSc. Aris Verdecia Peña  
Prof. Arisleidis Chapman Verdecia  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva  
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo  
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu  
Prof. Dr. Carlos Nick  
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos  
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva  
Prof. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos  
Prof. MSc. David Chacon Alvarez  
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira  
Prof. Dra. Denise Silva Nogueira  
Prof. Dra. Dennyura Oliveira Galvão  
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins  
Prof. Dr. Fábio Steiner  
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza  
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez  
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles  
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira  
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto  
Prof. MSc. João Camilo Sevilla  
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales  
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski  
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira  
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques  
Prof. Dra. Keyla Christina Almeida Portela  
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez  
Prof. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann  
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior  
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos  
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla  
Prof. MSc. Mary Jose Almeida Pereira  
Prof. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes  
Prof. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira  
Prof. Dra. Patrícia Maurer  
Prof. Dra. Queila Pahim da Silva  
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty  
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke  
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva  
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes  
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)  
Prof. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos  
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues  
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca  
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira  
Prof. Dra. Yilan Fung Boix  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

#### Institución

OAB/PB  
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã  
UO (Cuba)  
IF SUDESTE MG  
Facultad de Medicina (Cuba)  
ISCM (Cuba)  
UFESSPA  
UEA  
UNEMAT  
UFV  
AJES  
UFGD  
UEMS  
IFPA  
UNICENTRO  
IFMT  
UFMG  
URCA  
ISEPAM-FAETEC  
IFG  
UEMS  
UFF  
(Colômbia)  
UNAM (Peru)  
IFRR  
UCG (México)  
Rede Municipal de Niterói (RJ)  
UNMSM (Peru)  
UFMT  
SED Mato Grosso do Sul  
UEMA  
IFPR  
Tec-NM (México)  
Consultório em Santa Maria  
UFJF  
UEG  
FAQ  
UNAM (Peru)  
SEDUC/PA  
IFB  
IFPA  
UNIPAMPA  
IFB  
UO (Cuba)  
UFMS  
UFPI  
UFG  
UEMA  
IFB  
UFPI  
FURG  
UO (Cuba)  
UFT

Consejo Científico Técnico  
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior  
- Esp. Maurício Amormino Júnior  
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Hoja de catálogo

**Catalogación en publicación**  
**Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166**

B616

Biotecnología agropecuaria aplicada / Edición de Leandris ArgenteL-Martínez, Ofelda Peñuelas-Rubio, Lucila Perales-Aguilar, Ugur Azizoglu. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2024.  
203p. ; il.

Reserva en PDF

ISBN 978-65-85756-36-5

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756365>

1. Biotecnología en la agricultura. 2. Microorganismos. I. ArgenteL-Martínez, Leandris (Editores). II. Peñuelas-Rubio, Ofelda (Editores). III. Lucila Perales-Aguilar (Editores). IV. Azizoglu, Ugur (Editores). V. Título.

CDD 631.52

Índice del catálogo sistemático

I. Biotecnología en la agricultura



Nuestros libros electrónicos son gratuitos y se permite el acceso público, la descarga y el intercambio, pero solicitamos que se dé el debido crédito a Pantanal Editora y también a los organizadores y autores. Sin embargo, no se permite el uso de libros electrónicos con fines comerciales, salvo autorización expresa de los autores y acuerdo de Pantanal Editora.

**Pantanal Editora**

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.  
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.  
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).  
<https://www.editorapantanal.com.br>  
[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)

## **Presentación**

Sin duda, la biotecnología representa una de las áreas científicas de mayor avance y aplicación en la actualidad. Aun cuando sus inicios fueron hace miles de años, con la obtención de cerveza y queso, gracias al avance científico-tecnológico en las ciencias relacionadas con la biología, se ha potenciado la rama agropecuaria.

En México, considerando que las actividades de producción agrícola y pecuaria son primordiales para el desarrollo del país, existe gran interés de la comunidad científica para buscar alternativas que den solución a los problemas más relevantes que limitan la producción de alimentos.

El presente compendio científico “**Biología agropecuaria aplicada**” aborda temas relevantes del área agropecuaria. Se hace énfasis en el aprovechamiento de microorganismos bacterianos y fúngicos y su potencial uso en los agroecosistemas. Estas aplicaciones con la finalidad de promover prácticas sustentables de producción, desde la promoción del crecimiento vegetal en condiciones ambientales adversas, el biocontrol de fitopatógenos y malezas, así como la biorremediación. También se exploran metodologías novedosas para la obtención de compuestos antioxidantes y antifúngicos. Además, se presentan avances en la elaboración de nuevos alimentos para la producción acuícola, como alternativas para la nutrición efectiva.

Los trabajos aquí presentados constituyen evidencias de los pasos sólidos que dan los diferentes grupos de investigación nacionales e internacionales del área de la biología agropecuaria. Se agradece la participación de los autores que pertenecen al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII-CONAHCYT) de los Estados Unidos Mexicanos.

**Los Autores**


## Resumen


<b>Presentación</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 1</b>	<b>6</b>
Perspectivas de la aplicación del microbioma bacteriano de <i>Parkinsonia aculeata</i> en suelos salinos	6
<b>Capítulo 2</b>	<b>17</b>
Microorganismos promotores del crecimiento vegetal y yeso agrícola en el cultivo de uva industrial variedad <i>Cabernet sauvignon</i> , Valle del Yaqui	17
<b>Capítulo 3</b>	<b>26</b>
Efecto de pulsos ultrasónicos en la extracción de compuestos antioxidantes y antifúngicos en <i>Euphorbia prostrata</i> (golondrina)	26
<b>Capítulo 4</b>	<b>36</b>
Evaluación de la sustitución parcial de harina de pescado por harina de <i>Amaranthus hybridus</i> para cultivo de tilapia ( <i>Oreochromis aureus</i> )	36
<b>Capítulo 5</b>	<b>48</b>
Potencial del género <i>Pleurotus</i> como agente biorremediador en la eliminación de metales pesados de suelos: un enfoque biotecnológico para la agricultura sostenible	48
<b>Capítulo 6</b>	<b>59</b>
El papel de las bacterias quitinolíticas en interacciones planta-patógeno y su potencial empleo biotecnológico en la agricultura	59
<b>Capítulo 7</b>	<b>71</b>
Avances en el desarrollo de micoherbicidas para el manejo agroecológico de la correhuela ( <i>Convolvulus arvensis</i> L.) en la agricultura	71
<b>Capítulo 8</b>	<b>84</b>
Caracterización fisicoquímica parcial de la harina de grillo domestico <i>Acheta domesticus</i> como ingrediente novedoso en formulaciones	84
<b>Capítulo 9</b>	<b>93</b>
El género <i>Bacillus</i> como aliado en la agricultura sostenible	93
<b>Capítulo 10</b>	<b>114</b>
<i>Trichoderma</i> , bioinsumo para la agricultura sustentable y protegida	114
<b>Capítulo 11</b>	<b>135</b>
El papel de la Agrobiotecnología en la Agricultura	135
<b>Capítulo 12</b>	<b>148</b>
Cromatografía: Una técnica esencial en la Biotecnología Agropecuaria	148
<b>Capítulo 13</b>	<b>186</b>
Propagación <i>in vitro</i> de Cactáceas y Agaváceas tolerantes a metales pesados en el suelo	186
<b>Índice Remissivo</b>	<b>202</b>
<b>Editores</b>	<b>203</b>


## Propagación *in vitro* de Cactáceas y Agaváceas tolerantes a metales pesados en el suelo

Recibido en: 31/06/2024

Aprobado en: 03/07/2024

 10.46420/9786585756365cap13

Lucila Perales-Aguilar 

Ernesto González-Gaona 

Olga Lidia Rivera-Dávila 

Leandris Argente-Martínez<sup>1</sup> 

Ofelda Peñuelas-Rubio<sup>1</sup> 

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue producir *in vitro* diferentes especies de Cactáceas y Agaváceas, para evaluar su tolerancia ante diferentes metales pesados. Para esto, se propagaron *in vitro* nueve especies de cactáceas y cinco especies de agaváceas, las cuales se sometieron en el laboratorio a diferentes concentraciones de metales pesados, evaluando principalmente el desarrollo de la parte aérea y de la raíz. De acuerdo con los resultados obtenidos se propagaron exitosamente las plantas *in vitro* y las especies de plantas para ser utilizadas en la remediación de suelos contaminados fueron: *Agave celsii*, *A. salmiana*, *Opuntia amyclaea*, *O. ficus-indica* y *O. robusta*.

### INTRODUCCIÓN

La contaminación con metales pesados en el ambiente representa un impacto devastador para el hombre, los animales y las plantas, sobre todo por las altas concentraciones de estos elementos en el suelo, en sedimentos y en el agua, y que por su capacidad bioacumulativa entran a las cadenas tróficas, llegando en muchos casos a los alimentos que consumimos, lo cual puede ocasionar problemas serios en la salud humana, en la biodiversidad y en el ambiente. La mitigación de este tipo de contaminación, requiere de la participación de todos, pero sobre todo el desarrollo de estudios profundos con la participación de las instituciones de investigación y con el apoyo de todos los niveles de gobierno (Calderón-Guevara et al., 2023).

Una de las alternativas más prometedoras para resolver este problema, es el uso de plantas tolerantes a los metales pesados, que reduzcan de manera considerable las altas concentraciones en suelos contaminados. De acuerdo con diversos estudios realizados, algunas especies de cactáceas y agaváceas pueden ser utilizadas en programas de fitorremediación de suelos (Pitagan et al., 2023; Stavi, 2022), lo cual se comprobó en los resultados del presente estudio.

El género *Agave* comprende 300 especies que se consideran nativas de América. Su distribución son las zonas áridas y semiáridas. Son monocotiledóneas, suculentas con hojas en forma de roseta. El

Agave es una excelente alternativa para cultivar, por su capacidad de crecer con recursos hídricos limitados (Tripathi et al., 2023). El alto número de especies endémicas en México es debido a la diversidad y a su fisiología que les permite adaptarse a suelos pobres y con baja humedad. Es una planta hermafrodita, que posee inflorescencia en espiga. Sus flores son de color amarillo verde. Su fruto es capsular, leñoso, alargado (Barrientos et al., 2020).

La familia Cactaceae presenta cerca de 130 géneros con 1850 especies nativas del continente americano. México es el país que presenta la mayor diversidad de cactáceas en el mundo con 670 especies. Son especies que se consideran claves de las zonas áridas y semiáridas de América. Las cactáceas tienen gran diversidad en formas y tamaños, desde muy pequeñas hasta gigantes. Son un grupo monofilético (proviene de un solo ancestro común). Entre sus características están la presencia de areolas que son yemas axilares (zonas meristemáticas). El cambio evolutivo más representativo o adaptación fisiológica, es el reemplazo de espinas por hojas, lo que le da una doble adaptación a la pérdida de agua y le sirven como protección (Schwertner-Charão et al., 2023).

Todas las cactáceas tienen características altamente especializadas como tejidos que almacenan agua. Las plantas de zonas áridas muestran adaptaciones morfológicas (reducción de la superficie de la hoja o ausencia de ella) para soportar la falta de humedad y largos períodos de sequía. Los Agaves y Cactáceas son plantas CAM (Metabolismo ácido de las crasuláceas) ya que absorben CO<sub>2</sub> por la noche para conservar la humedad (Perumal et al., 2021; Tripathi et al., 2023).

México tiene una gran diversidad de especies con el metabolismo CAM. La fotosíntesis C<sub>4</sub> y CAM, son los mecanismos que han surgido de la evolución de las plantas para disminuir la pérdida de la energía que se asocia a la fotorrespiración. Las plantas CAM xerofitas responden a la capacidad de incremento en la eficiencia en el uso del agua al abrir las estomas durante la noche, cuando las tasas de transpiración son menores. Para las cactáceas que viven en ambientes áridos, la asimilación de CO<sub>2</sub> tiende a incrementarse de manera lineal con el flujo de fotones para la fotosíntesis (400 y 700 nm) y se satura cuando el flujo de fotones para la fotosíntesis total diaria alcanza 30 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. La asimilación de CO<sub>2</sub> en *Agave deserti* y *Ferocactus acanthodes* es de 25/15 °C (Andrade et al., 2007).

Más de 700 especies vegetales en todo el mundo tienen la capacidad de acumular en sus tejidos, sobretodo en la parte aérea, altas cantidades de metales, este proceso fisiológico es una adaptación de las plantas a los suelos metalíferos donde crecen y se desarrollan (Alfonso et al., 2020). Por todo esto, el objetivo del presente trabajo fue propagar *In vitro* diferentes especies de cactáceas y agaváceas, para evaluarlas como tolerantes a los metales pesados, para su posible uso en programas de fitorremediación de suelos.



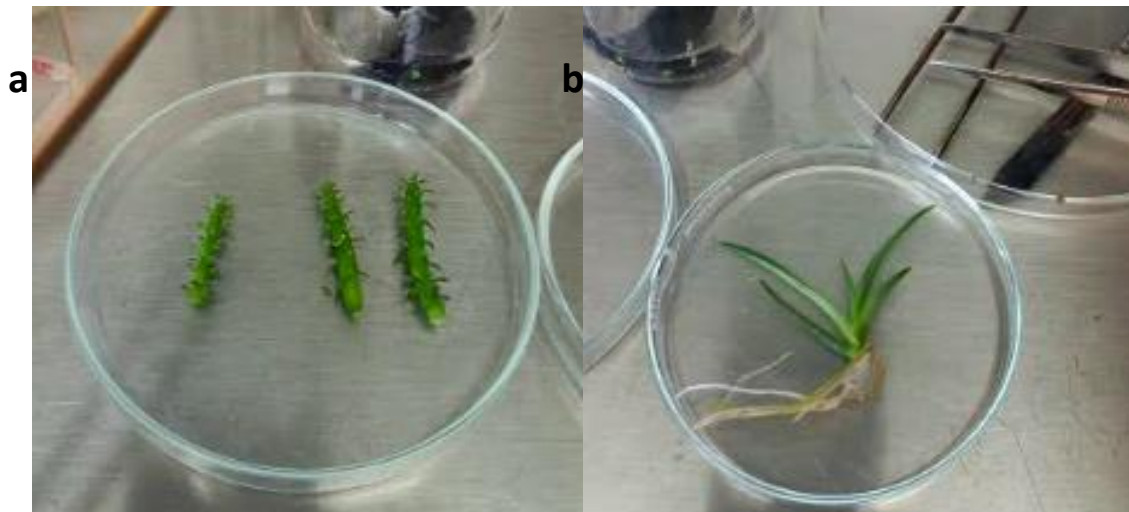
## PROPAGACIÓN *IN VITRO* DE PLANTAS TOLERANTES A METALES PESADOS

La propagación *in vitro* es una reproducción asexual en plantas que mediante la adición de hormonas vegetales como auxinas y citocininas a un medio de cultivo, las especies vegetales se reproducen en corto tiempo, en espacios reducidos, obteniendo plantas sanas. Esta herramienta sirve en la investigación con metales pesados, porque ayuda a entender las relaciones plantas-contaminantes (Perales et al., 2019).

Los Agaves se propagan mediante biotecnología vegetal para el establecimiento *in vitro*, sobre todo mediante el uso de semillas, ya que presenta mayor porcentaje de asepsia, hasta un 90%. La propagación *in vitro* cada vez es más utilizada para la reproducción y conservación de especies de zonas áridas y semiáridas (Aguilar-Rito et al., 2023).

Las cactáceas tienen un ritmo de crecimiento muy lento y largos ciclos de vida (Schwertner-Charão et al., 2023). Una de las dificultades que presentan las plantas tolerantes a metales pesados, es el desarrollo de una metodología eficiente para su propagación. El cultivo de tejidos vegetales o propagación *in vitro* son de gran importancia para tener un gran número de plantas y reducir los problemas de contaminación ambiental (Piotto et al., 2014). Son eficientes para la producción de plantas, ya que no solo permite generar grandes cantidades, sino que también se pueden realizar estudios para evaluar su efectividad para reducir la presencia de contaminantes (Perales et al., 2019).

En la figura 1a se observan tres explantes *in vitro* del género *Opuntia* y en la figura 1b una planta regenerada *in vitro* del género *Agave* con su parte aérea y raíz.

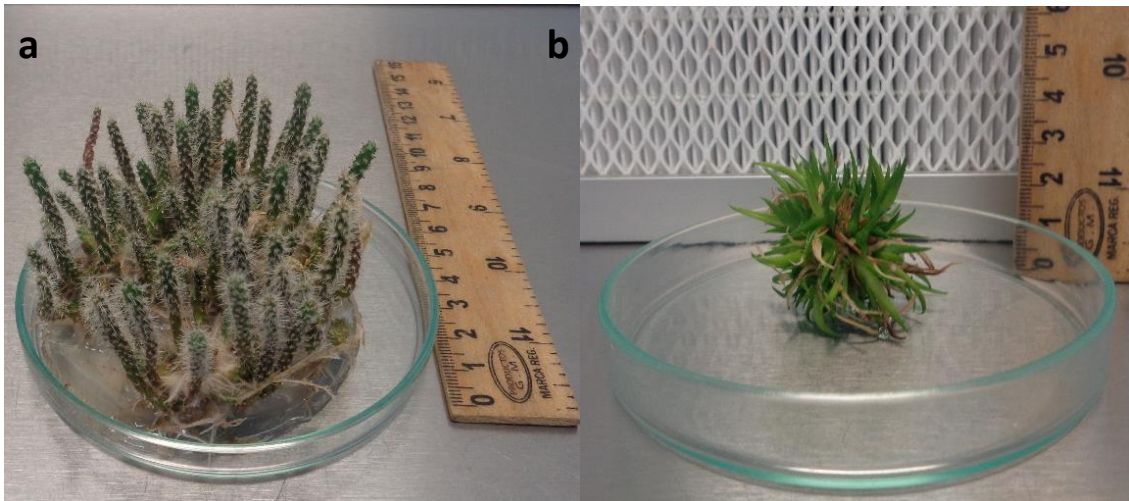


**Figura 1.** a) Explantes del género *Opuntia* y b) Planta regenerada *in vitro* del género *Agave*.

Para el éxito de la propagación *in vitro* de agaves y cactáceas se utiliza la citocinina 6-benciladenida (BA) que promueve la división y diferenciación celular, y el medio de cultivo Murashige y Skoog (1962) conocido como MS. Se establecen *in vitro* los explantes (tejido meristemático) para pasar a una etapa de multiplicación, seguida de una etapa de enraizamiento que consiste en inducir las raíces de los brotes obtenidos en la etapa de multiplicación y finalmente las plantas pasan a una etapa de aclimatación, que es

en primer lugar en invernadero, para concluir finalmente en la adaptación en campo (Aureoles-Rodríguez et al., 2008).

Muchas especies de zonas áridas y semiáridas se encuentran amenazadas o en peligro de extinción y el empleo de la técnica de propagación *in vitro* ayuda a la multiplicación y conservación de especies como los Agaves y Cactáceas, como las especies *Opuntia robusta* y *Agave peacockii* (Figura 2) (Aureoles-Rodríguez et al., 2008).



**Figura 2.** a) Brotes de *Opuntia robusta* y b) Brotes de *Agave peacockii*.

Para la inducción de brotes de Agaves se añade al medio de cultivo MS 2 mg L<sup>-1</sup> de BA y 8 g L<sup>-1</sup> de agar SIGMA. Para las cactáceas se utiliza 1 mg L<sup>-1</sup> de BA y 10 g L<sup>-1</sup> de agar SIGMA. Esto con el fin de obtener el mayor número de plantas posibles en poco tiempo y con la formación y desarrollo de las raíces para regenerar la planta completa.

## **METALES PESADOS Y LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO**

Los metales pesados están presentes naturalmente en los suelos, en diferentes concentraciones de acuerdo con el material que le dio origen, pero actualmente se presenta una acumulación antropogénica por las actividades humanas como la minería. En el suelo la movilidad de los metales pesados disminuye cuando se incrementa el pH. Los metales causan daños a las plantas debido a que reducen la actividad enzimática. Si el metal tiene alta solubilidad con el suelo como el Cadmio (Cd), se transloca a las partes aéreas de las plantas, aumentando el riesgo de que sea incorporado a la cadena alimenticia, por su similitud con el Ca. Entre los efectos tóxicos de los metales en plantas se encuentra la clorosis, reducción de la actividad fotosintética, inhibición en la apertura de estomas y reducción en la actividad enzimática (Riopedre-Galán et al., 2021).

Los metales pesados son elementos químicos que tienen una alta densidad y son tóxicos en concentraciones muy bajas (ppm) como Cu, Cd, Cr y Pb. La bioacumulación es el proceso mediante el cual los metales pesados pueden pasar a los diferentes cultivos y organismos vivos. Las plantas necesitan de micro y macro nutrientes, algunos metales Fe, Mn y Zn son esenciales para metabolismo, pero en concentraciones altas son tóxicos (Pérez-García et al., 2023). Otro grupo de metales como Cd, Cr y Pb no presentan función biológica conocida y en concentraciones bajas provocan disfunciones graves en las plantas (Alberto et al., 2022).

La movilidad de los metales pesados en el suelo y la absorción en plantas se relaciona con el pH, el contenido de materia orgánica, potencial redox etc. Es importante estudiar la composición y propiedades del suelo para comprender el paso de los metales pesados a las plantas (Pérez-García et al., 2023).

La exposición a metales pesados causa daños ambientales graves y daños directos al hombre por los efectos negativos sobre la salud. Los metales pesados encontrados en suelos son Cu, Cr, Pb, Mn y Zn (Guzmán-Morales et al., 2021a).

Los metales pesados presentan diferentes efectos sobre las plantas, en el cuadro 1, se mencionan los principales efectos de la toxicidad de estos elementos en la fisiología y morfología de las plantas.

**Cuadro 1.** Efectos adversos de los metales pesados en las plantas.

<b>Metal pesado</b>	<b>Efectos en plantas</b>
Cd	Interfiere en la absorción y el transporte de Ca, Mg, P y K. Disminuye la fijación de nitrógeno.
Cu	Reducción de la biomasa. Malformación.
Cr	Daña la morfología de la planta. Disminución en la adquisición de nutrientes.
Fe	Menor crecimiento. Reducción de la biomasa.
Mn	Manchas de color marrón. Necrosis en hojas, pecíolo y tallo.
Pb	Inhibe el alargamiento de la raíz y tallo. Engrosamiento irregular en la raíz.
Zn	Alteraciones en las estructuras de los cloroplastos. Deficiencia de nutrientes porque compite con P, Mg y Mn.

## **PROBLEMÁTICA DE CONTAMINACIÓN EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS**

Los Agaves y las Cactáceas tienen una gran importancia ecológica para las zonas áridas y semiáridas. La pérdida de su hábitat y la disminución en sus poblaciones va en aumento cada día y se encuentran amenazadas o en peligro de extinción, debido a cambios ambientales por sitios contaminados. Su análisis, estudio e investigación para resolver las problemáticas ambientales debe incrementarse debido a que son plantas adaptadas a condiciones adversas y que poseen mecanismos de resistencia ante tóxicos como los metales pesados (Bezerra-Silva et al., 2024).

En México la contaminación del suelo y del agua (superficial y subterránea) ha aumentado como resultado de la explotación de nuestros recursos naturales mediante actividades humanas que provocan daños graves al ambiente en todos los ecosistemas. La valoración de las especies vegetales en ambientes contaminados contribuye al manejo técnico-biológico para restablecerlas y utilizarlas para biorremediación (Chang-Quijano et al., 2021).

En sitios contaminados por la minería se pierde la cubierta vegetal y la erosión se incrementa (Pérez-García et al., 2023). En el estado de Aguascalientes en los municipios de Asientos y Tepezalá, se presenta esta problemática en sitios cercanos a cuerpos de agua como la presa El Niágara, debido a actividades mineras para la extracción de metales como plata, oro, plomo, cobre y zinc. Los ecosistemas han sufrido un impacto negativo. El suelo funciona como filtro, pero si se rebasan los límites de contaminación se pierde su capacidad amortiguadora (Perales et al., 2019).

La presencia de metales pesados en el suelo altera la sostenibilidad de la cadena trófica y provoca daños más graves a los ecosistemas. Los metales pesados tienen una relación directa en la contaminación de los suelos, principalmente mediante el riego con agua contaminada. La contaminación de suelos con metales pesados destruye el poder de autodepuración natural por procesos de regeneración biológica normal. En plantas, los metales pesados afectan negativamente los hábitats, lo que deriva en problemas ecológicos, evolutivos y nutricionales (Alberto et al., 2022).

La contaminación del ambiente por metales pesados tiene un impacto negativo fuerte en los recursos naturales y en los seres vivos, poniendo en peligro la supervivencia del planeta. Conocer la concentración de elementos tóxicos en los ecosistemas nos ayuda a saber la calidad de los suelos y sirve como fundamento para realizar estudios para resolver esta problemática a nivel mundial (Muñiz, 2022).

## **REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS**

Para remediar suelos contaminados por metales pesados se usan técnicas físicas como la excavación, fijación y lixiviación, pero presentan costos elevados y deterioran el sitio tratado. Por otro lado, existen plantas que por su naturaleza pueden establecerse en medios contaminados por metales pesados y acumularlos en sus tejidos, lo que se conoce como fitorremediación, que comprende los procesos dirigidos a liberar el contaminante de la matriz del suelo (descontaminación) o retenerlos en

dicha matriz (estabilización). Es una técnica que ha ganado aceptación, porque es una tecnología limpia que contribuye a la conservación de plantas del semidesierto (Pérez-Villar et al., 2022).

Durante estos últimos años, ha avanzado la tecnología para eliminar metales pesados. La biorremediación trata residuos tóxicos, entre los métodos de esta tecnología se encuentra la fitorremediación que es el uso plantas para depurar sitios contaminados, principalmente con dos técnicas la fitoextracción y la fitoestabilización (Cartaya et al., 2022). La fitorremediación es una alternativa ecológica, moderna, que utiliza plantas para detoxificar suelos contaminados, de manera económica y ambientalmente aceptada. Este método recupera la cubierta vegetal de los suelos y se emplea en todo el mundo (Guzmán-Morales et al., 2021b).

La disponibilidad de un modelo de cultivo económico, rentable, para estudiar mecanismos de acumulación en plantas ante la presencia de tóxicos, como los mecanismos de fitoextracción, fitoestabilización son métodos de fitorremediación para remediar zonas contaminadas por metales pesados (Guzmán-Morales et al., 2021).

La toxicidad de los metales pesados en plantas depende de la especie, el metal involucrado, su concentración, la forma química, la composición del suelo y su pH (Alberto et al., 2022). La evaluación del potencial de fitorremediación en suelos con metales pesados, se puede estimar mediante los coeficientes biológicos, como el coeficiente de absorción biológica que se estima dividiendo la concentración del metal en la raíz entre la concentración del metal en el suelo. El factor de translocación biológico o de transferencia biológica, asocia la concentración del metal en la raíz entre la concentración del metal en la parte aérea de la planta (Pérez-Villar et al., 2022).

La fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados es una técnica con grandes posibilidades actualmente y es muy amigable con el ambiente. El uso de plantas tolerantes a altos niveles de metales en suelo permite la restauración y conservación de suelos contaminados (Prieto et al., 2009).

## **MECANISMOS DE RESISTENCIA EN PLANTAS A LOS METALES PESADOS**

Algunas especies desarrollan mecanismos complejos fisiológicos para minimizar los efectos negativos de los metales pesados, a través de la absorción, acumulación y translocación de estos contaminantes en el tejido vegetal. Gracias a estos mecanismos los daños en las células no se presentan, provocando así la tolerancia de las plantas ante estos tóxicos. Las plantas degradan, extraen o inmovilizan a los contaminantes, por ello el impacto de su estudio. Los mecanismos fisiológicos permiten secuestrar rápidamente el metal y acumularlo en las partes aéreas, la planta se desarrolla sin presentar efectos tóxicos visibles (Guzmán-Morales et al., 2021).

Los principales mecanismos que se presentan en las células vegetales en plantas usadas para biorremediación son (Shaari et al., 2021):

- 1) Unión en la pared celular

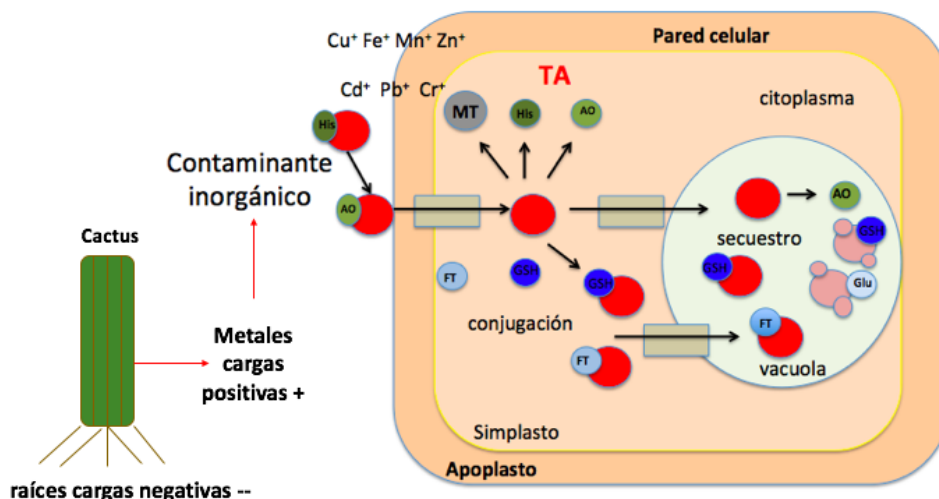
- 2) Cambios en la permeabilidad de iones
- 3) Exclusión activa
- 4) Biotransformación
- 5) Quelación extra e intracelular
- 6) Compartimentación del metal

La absorción de Cd en la célula vegetal es a través de transportadores de Ca, Fe, Mn, Cu y Zn. El Ca y el Cd para transportarse compiten por los mismos canales de Ca. El Cd es móvil y soluble en agua entonces ingresa por la raíz, por lo general el Cd se queda en la raíz, gracias a un sistema complejo de adsorción, quelación y compartimentación. Algunos metales pesados se quedan retenidos en la pared celular de las raíces (Shaari et al., 2021).

Los contaminantes pueden entrar a la planta por vía foliar, dependiendo de la morfología y la tasa de respiración de la planta para su ingreso (Riopedre-Galán et al., 2021).

El conocimiento de los mecanismos específicos aporta información relevante para los modelos biológicos y poder así utilizar plantas para descontaminar los suelos (Cortés et al., 2018). Existen las plantas clasificadas como metalófitas, que han desarrollado mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos contaminados por las actividades mineras (Jara-Peña et al., 2014).

Los metales pesados provocan estrés oxidativo en las plantas, lo que lleva a la muerte celular. Las plantas han desarrollado mecanismos de defensa para minimizar el impacto negativo de los metales en las células, para lo cual secuestran en su vacuola al metal y lo inactivan en compartimientos celulares, donde quedan excluidos de los procesos de respiración y división celular, y así no causan daños en las plantas (Figura 3).



**Figura 3.** Mecanismos de defensa en las células de plantas ante la presencia de metales pesados (elaboración propia).



## PLANTAS TOLERANTES A METALES PESADOS

La absorción y acumulación de metales pesados en las plantas depende de la movilidad de las especies de metales en el suelo y también de la eficiencia de la planta para tomar y acumular al contaminante. Las plantas pueden acumular un elemento hasta cierto nivel. Las plantas que toleran de 10 a 100 veces al tóxico se llaman hiperacumuladoras, y son muy importantes para remediar terrenos contaminados. Estas plantas toleran concentraciones por encima de los índices considerados como tóxicos (Pérez-García et al., 2023).

A través de bioensayos de ecotoxicidad de metales pesados con pruebas de fitotoxicidad con plantas se pueden tomar decisiones para evaluar la perturbación de los ecosistemas y proponer alternativas de biorremediación. La respuesta de las plantas a los metales pesados puede ser atribuida a factores genéticos y fisiológicos. El uso de plantas tolerantes ayuda a la revegetación en suelos afectados por la minería (Iannacone & Alvarino, 2005).

Evaluar los contenidos de metales pesados en plantas y su movilidad, permitirá evaluar los riesgos ambientales de toxicidad. Las plantas acumuladoras poseen la capacidad de almacenar cantidades extraordinarias del tóxico. La acumulación de metales no es una característica común en la mayoría de las plantas, sino que es una respuesta evolutiva (Peña et al., 2018).

La capacidad que tienen las plantas tolerantes para crecer en suelos contaminados puede servir en proyectos para rehabilitación y recuperación de la cubierta vegetal para la conservación de los recursos fitogenéticos (Alfonso et al., 2020).

El género *Agave* se reporta como tolerante a los metales pesados por lo que se puede usar para fitoestabilizar sitios contaminados para remediación (Perales et al., 2019).

La especie de cactáceae *Pereskia sacharosa* propagada *in vitro* en el tratamiento testigo, presentó buen desarrollo de la parte aérea y de la raíz (Figura 4).



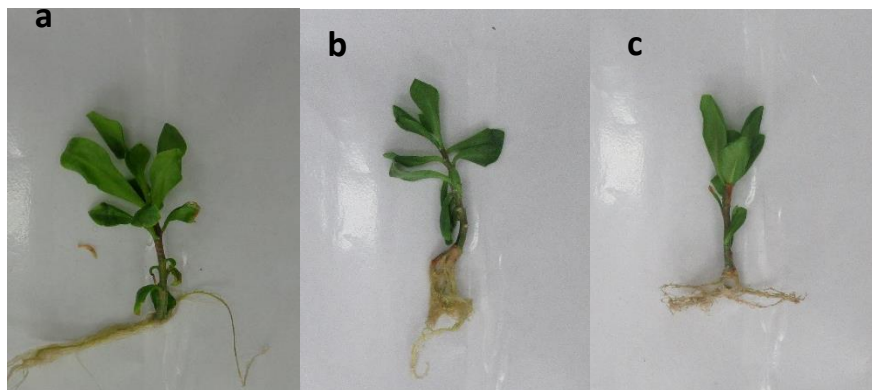
**Figura 4.** Respuesta del testigo S/A de la especie *Pereskia sacharosa*.

La especie de cactácea *Pereskia sacharosa* se Cu (0.2 mM) presentó un menor desarrollo radical en el tratamiento con Cu (0.2 mM), comparado con los demás tratamientos con metales pesados, Fe (1 mM), Mn (1.6 mM) y Zn (0.48 mM) (Figura 5).



**Figura 5.** Respuesta de *Pereskia sacharosa* a los tratamientos con a) Cu, b) Fe, c) Mn y d) Zn.

La especie de cactácea *Pereskia sacharosa* en los tratamientos con metales pesados Cd (0.005 mM), Cr (1 mM) y Pb (0.4 mM), presenta semejante desarrollo de las raíces (Figura 6).



**Figura 6.** Respuesta de la especie *Pereskia sacharosa* en los tratamientos con los metales pesados a) Cd, b) Cr y c) Pb.

Se observa la presencia de raíz en los tres tratamientos con metales pesados Cd, Cr y Pb. La especie *Pereskia sacharosa* es tolerante ante la presencia de estos metales pesados.

En los cuadros 2 y 3 se enlistan las especies de zonas áridas tolerantes a metales pasados clasificadas en Fitoestabilizadora (F), hiperacumuladora (H), indicadora (I) y exclusora (E) según la concentración de metal pesado en la parte aérea y su concentración en la raíz.



Las especies de cactáceas evaluadas ante los metales pesados presentan diferentes respuestas ante la presencia de cinco metales y se incluyen en diferente tipo de clasificación (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Plantas cactáceas tolerantes a metales pesados (Perales *et al.*, 2019).

Clasificación							
Especies	Cd <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Cr <sup>6+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>+2</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
<i>Opuntia amyclaea</i>	F	F	F	F	I	E	F
<i>Opuntia basilaris</i>	F	F	F	H	H	E	F
<i>Opuntia cochenillifera</i>	E	F	F	F	H	F	H
<i>Opuntia ficus-indica</i>	E	F	E	F	H	F	F
<i>Opuntia macrocentra</i>	F	F	F	F	H	E	H
<i>Opuntia robusta</i>	E	F	E	F	H	F	F
<i>Pereskia sacharosa</i>	F	F	F	F	H	F	I
<i>Pilosocereus chrysacanthus</i>	H	F	F	H	F	F	H
<i>Polaskia chichipe</i>	F	F	F	H	F	E	H

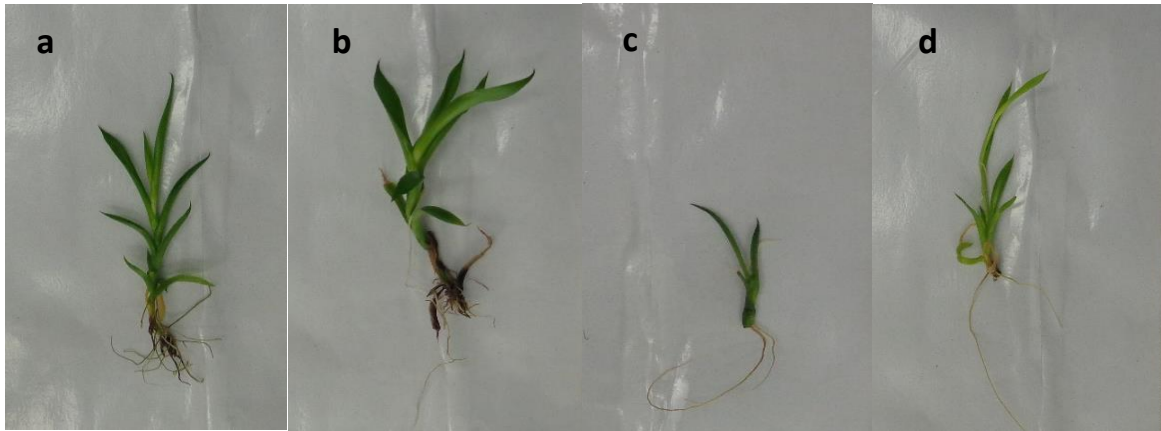
F = Fitoestabilizadora, H= Hiperacumuladora, I = Indicadora, E= Exclutora

El tratamiento testigo (S/A) de *A. celsii*, desarrollo tejido verde poco robusto y poca raíz (Figura 7).



**Figura 7.** *Agave celsii*.

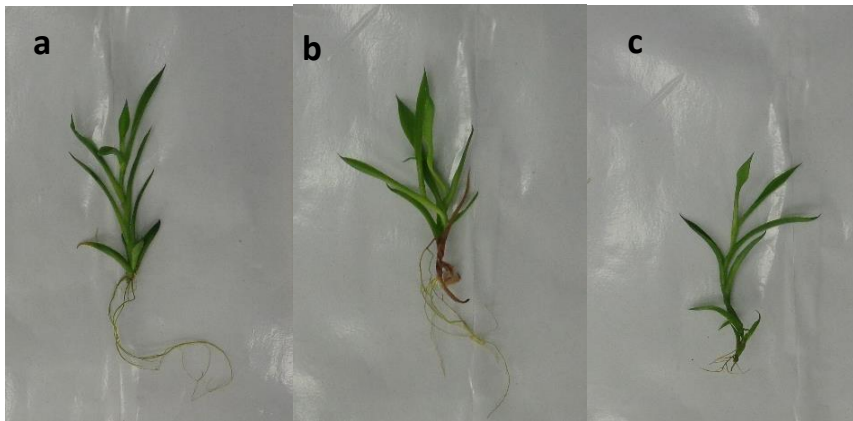
La especie *Agave celsii* desarrolló más tejido verde y raíz con el tratamiento de Fe (1 mM) y con la aplicación de Cu (0.2 mM), en comparación con los otros dos tratamientos (Figura 8).



**Figura 8.** Respuesta de *Agave celsii* a los tratamientos con a) Cu, b) Fe, c) Mn y d) Zn.

En el tratamiento con Mn el desarrollo en la parte aérea fue menor en comparación con el resto de los tratamientos con metales.

La especie *Agave celsii* desarrolló más raíz en los tratamientos con metales pesados Cd (0.005 mM), Cr (1 mM) y muy poca con Pb (0.4 mM) (Figura 9).



**Figura 9.** Respuesta de *Agave celsii* a los tratamientos con a) Cd, b) Cr y c) Pb.

La especie *Agave celsii* desarrolló poca raíz en el tratamiento con plomo a diferencia de los tratamientos con Cd y Cr donde el desarrollo de la raíz es mayor. De acuerdo con los resultados obtenidos, varias las especies del género *Agave* son tolerantes a diferentes niveles ante la presencia de cinco metales pesados (Cuadro 3).

La evaluación de la fitotoxicidad por metales pesados contribuye al desarrollo de técnicas ambientales para minimizar o erradicar los contaminantes presentes en el suelo. Estas especies clasificadas como fitoestabilizadoras de metales tienen un uso potencial para aprovecharse en el tratamiento de suelos

contaminados. Evaluar la fitoestabilización *in situ* de plantas en los suelos contaminados por metales pesados, servirá para resolver parte de la problemática de contaminación ambiental. El estudio de plantas tolerantes a contaminantes es una alternativa de manejo técnico biológico para remediar sitios con altas concentraciones de metales pesados.

**Cuadro 3.** Plantas género *Agave* tolerantes a metales pesados (Perales et al., 2019).

Clasificación							
Especies	Cd <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Cr <sup>6+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>+2</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
Agave celsii	F	F	F	F	I	E	F
Agave chiapensis	H	F	E	F	H	E	F
Agave obscura	F	F	F	F	H	E	H
Agave palmeri	E	F	E	F	H	E	F
Agave salmiana	F	F	F	F	F	E	F

F = Fitoestabilizadora, H= Hiperacumuladora, I = Indicadora, E= Exclutora

## CONCLUSIONES

La propagación *in vitro* de Agaves y Cactáceas fue exitosa con las concentraciones de BA y el uso del medio MS óptimo y agar para la obtención de brotes.

Las especies *Agave celsii*, *A. salmiana*, *Opuntia amyclaea*, *O. ficus-indica* y *O. robusta* tienen uso potencial para su aprovechamiento en la restauración de sitios contaminados con los metales pesados Cd, Cu, Cr, Fe y Zn. Son plantas que al ser clasificadas como fitoestabilizadoras pueden inmovilizar el metal en la interfase suelo-raíz y también se pueden usar para conservación de la biodiversidad de cactáceas y agaváceas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Rito, M. G., Arzate-Fernández, A. M., García-Nuñez, H. G., & Norman-Mondragón, T. H. (2023). Establishment of an efficient protocol for *in vitro* disinfection of sedes of seven Agave spp. species. Mexican Journal of Phytopathology. 42(1): 1- 5. <https://doi.org/10.18781/R>.
- Alberto, N. M., Bello, L., & Díaz, O. (2022). Metales pesados en suelos agrícolas del Caribe Insular: estado actual e índices de contaminación. Centro Agrícola. 49(1):60-66.<https://cu-id.com/2153/cag091222357>.
- Alfonso, D., Reyes, R., Rodriguez, D., & Menéndez, E. (2020). Plantas que acumulan metales, su importancia. *Leucocroton havanensis* Borhidi hiperacumulación de níquel. Revista investigaciones ULCB. 6(2): 7-17. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2019v6n2.001>.
- Andrade, J. L., De la Barra, E., Reyes-García, C., Ricalde, M. F., Vargas-Soto, G., & Cervera, J. C. (2007). El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad. Boletín

de la Sociedad Botánica de México. 81: 37-50. Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/577/57708102.pdf.

- Aureoles-Rodríguez, F., Rodríguez-de la O, J. L., Legaria-Solano, J. P., Sahagún-Castellanos, J., & Peña-Ortega, M. G. (2008). Propagación *in vitro* del Maguey bruto (*Agave inaequidens* Kock), una especie amenazada de interés económico. *Revista Chapingo. Serie horticultura*. 14(3): 263-269. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2008000300006](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2008000300006).
- Barrientos, G., Esparza, E. L., Segura, H. R., Talavera, O., Sampedro, M. L., & Hernández, E. (2020). Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(3): 655-667. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1554>.
- Bezerra-Silva, A., Albuquerque-Lima, S., Nóbrega, V. G., Cardoso, A., Dantes, M. T., Thay, M., Machado, I. C., & Silveira F. (2024). When are Cacti Found with Flowers and Fruits? Estimation of the Reproductive Phenology of the Genus *Xiquexique* Base don Herbarium Data. *Diversity*. 79 (1-16). <https://doi.org/10.3390/d16020079>.
- Calderon-Guevara, M. N., Carpio-Rivera, N. Y., & Galarza-Mora, W. G. (2023). Metales Pesados Cd, Pb y Hg: Una Problematica de Salud Publica en el Contexto de las Relaciones Internacionales e importancia de la academia en su mitigacion. *MQRInvestigar*, 7(3), 2545-2578. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.2545-2578>.
- Cartaya, O., Moreno, A. Ma., Guridi, F., & Cabrera, J. (2022). Mezcla de oligogalacturónidos para la fitoextracción de metales pesados en suelos contaminados. *Cetro Agrícola*. 49(3):19-27. <https://cu-id.com/2153/cag033222371>.
- Chan-Quijano, J. G., Cach-Pérez, M. J., & López-Mejía, M. (2021). Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México. *Revista forestal de Perú*. 36(1): 22-46. <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v1i36.1703>.
- Cortés, A. A., Sánchez-Fortún, S., & Bartolomé, Ma. C. (2018). Mecanismos de resistencia a metales tóxicos (Cd) bajo variaciones abióticas en microalgas. *Revista Especialidad en Ciencias Químico-Biológicas*. 21(1):40-52. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- Guzmán-Morales, A. R., Cruz-La Paz, O., Valdés-Carmenate, R., & Váldez-Hernández, P.A. (2021a). Evaluación de la contaminación por metales pesados y su acumulación en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Inca*. 42(4): 1- 13. <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Guzmán-Morales, A. R., Oriol-Vázquez, P., Cruz-de la Paz, O., Váldez-Carmenate, R., & Valdés-Hernández, P. A. (2021b). Fitotecnología para la recuperación de agroecosistemas contaminados con metales pesados por desecho industrial. *Centro de investigaciones agropecuarias*. 48(3):43-52. <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Iannacone, J. y Alvaríño, F. (2005). Efecto ecotoxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas. *Agricultura técnica*. 65(2):198-203.

- Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*. 21(2):145-154. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>.
- Muñis, O. (2022). Contenido de metales pesados como criterio de calidad del suelo. *Ingeniería Agrícola*. 12(3): 58-61. <https://orcid.org/0000-0003-4872-3606>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3).
- Peña, E., Aguilar, G., & Herrera, F. (2018). Bioconcentración y riesgos por metales en plantas cultivadas y ruderales comestibles del estado Vargas, Venezuela. *Agrobiología*. 30:577-567.
- Perales, L., Santos, Ma. del S., Ramos, M. S., & Pérez, E. (2019). Análisis *in vitro* de la acumulación de metales pesados en plantas de la familia Asparagaceae tolerantes a la baja disponibilidad de agua. *Nova Scientia*, 12(24). DOI:10.21640/ns.v12i24.2081.
- Pérez-García, L., Crespo-Lambert, M., Leyva-Rodríguez, C. A., & Cuza-Fernández, G. (2023). La bioacumulación de metales pesados y el desarrollo de la agricultura urbana en Moa. *Minería y Geología*. 39(3):174-187.
- Pérez-Villar, M. M., Zorrilla-Velazco, M., Domínguez-Martínez, L., González-Roche, Y. M., & González-González, M. (2022). Determinación de los coeficientes de fitorremediación de cadmio y plomo en el Romerillo americano. *Revista Cubana de Química*. 34(3): 477 – 493.
- Perumal, R., Prabhu, M., Kannan, M., & Srinivasan, S. (2021). Taxonomy and Grafting of Ornamental Cacti. *Agricultural Reviews*. 42(4): 445-449.
- Piotto, F. A., Tulmann-Neto, A., Regina, M., Boaretto, L. F., & Antunes, R. (2014). Rapid screening for selection of heavy metal-tolerant plants. *Brazilian Society of Plant Breeding*. 14: 1-7.
- Pitagan, P. A., Melendres, K., Abonita, A., & Escaño-Alcaraz, K. J. (2023). Phytoremediation of Lead, Arsenic and Chromium Polluted Soil Using *Opuntia* spp.(Dilang-Baka). *BIODIVERS-BIOTROP Science Magazine*, 2(2), 38-45.
- Prieto, J., González, C. A., Román, A. D., & Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10 (1): 29-44. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf)
- Riopredre-Galán, T., Delgado-Álvarez, A., Cabrera-Rodríguez, J. A., & Cartaya-Rubio, O. E. (2021). Relación entre los metales pesados y los hongos formadores de micorrizas. *Inca*. 42(4):1-14.
- Schwertner-Charão, L., Treviño-Carreón, J., & Delgado, R. (2023). The fascinating adaptations of cacti and the evolutionary history. *CIENCIA Ergo-Sum*. 30(2): 1-11.

- Shaari, N. E. M., Khandaker, M. M., Majrashi, A., Alenazi, M. M., Abdullahi, U. A., & Mohd, K. S. (2021). Cadmium toxicity symptoms and uptake mechanism in plants: a review. *Brazilian Journal of Biology*. 1-17. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.252143>
- Stavi, I. (2022). Ecosystem services related with *Opuntia ficus-indica* (prickly pear cactus): A review of challenges and opportunities. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46(6), 815-841.
- Tripathi, H., Kuman, A., Chand, G., Kumar, R., Durgapal, A., Mahajan, L., Joshi, P., & Kumar, S. (2023). An overview of phytomedicinal, ethnobotanical applications and phytochemical constituents of four major Agave speices. *Indian Journal of Natural Products and Resources*. 14(2): 148-161.

## Índice Remissivo

### A

agar, 194, 203  
agaváceas, 191, 192, 203  
Análisis proximal, 91

### B

Bahía de Lobos, 8, 9, 10, 13  
biofertilización, 6, 14

### C

cactáceas, 191, 192, 193, 194, 201, 203  
*Convolvulus arvensis*, 73, 74  
Cromatografía de gases, 168

### E

Extracción por arrastre de vapor, 28, 29  
Extracción por maceración, 29, 30  
extractos de plantas, 139, 146, 148

### F

feromonas, 139, 142  
fitoestabilización, 197, 203  
Formulación, 206

### I

in vitro, 139, 140, 141

### M

metales pesados, 191, 192, 193, 194, 195, 196,  
197, 198, 199, 200, 201, 202, 203  
México, 208

### P

*Parkinsonia aculeata*, 6, 8  
Pleurotus, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56  
Proteína cruda, 92  
Pulsos ultrasónicos, 32

### Q

Quitinasas, 63

### S

semi-desierto, 9  
semioquímicos, 139, 149

### T

transgénicos, 139



**Dr. Leandris Argente-Martínez.** Profesor Investigador Titular C, del Tecnológico Nacional de México, Campus valle del Yaqui. Doctorado en Ciencias Biotecnológicas por el Instituto Tecnológico de Sonora. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel 1. Profesor Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, Líder del Cuerpo Académico ITVAYA-CA-3. Línea de investigación: Agricultura sustentable, Fisiología, Bioquímica, Biología Celular y Molecular del estrés.



**Dra. Ofelda Peñuelas-Rubio.** Profesora Investigadora Titular C, del Tecnológico Nacional de México, Campus valle del Yaqui. Doctorado en Ciencias Biotecnológicas por el Instituto Tecnológico de Sonora. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel 1. Profesora Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, Miembro del Cuerpo Académico ITVAYA-CA-3. Línea de investigación: Agricultura sustentable, Fisiología, Bioquímica, Biología Celular y Molecular de sistemas terrestres y costeros.



**Dra. Lucila Perales-Aguilar.** Profesora Investigadora del Tecnológico Nacional de México, miembro del S.N.I. candidata, con experiencia en biotecnología de plantas del semidesierto y remediación de suelos contaminados con metales pesados. Profesor con perfil deseable de la Secretaría de Educación Pública. Línea de investigación sobre Producción de Cactáceas y Agavaceas *in vitro* y remediación de suelos del semidesierto



**Dr. Ugur Azizoglu** es profesor asociado en el Departamento de Producción Agrícola y Animal de la Universidad de Kayseri y actualmente continúa su investigación en el Centro de Células Madre y Genoma de la Universidad Erciyes (GENKÖK), Türkiye. Se graduó de la Facultad de Ciencias y del Departamento de Biología de la Universidad Erciyes en julio de 2007 y obtuvo una Maestría en Ciencias en Biología en junio de 2009. Completó su doctorado en el Departamento de Biología de la Universidad Erciyes en 2014. El enfoque de sus estudios es la biotecnología microbiana, el control biológico, las bacterias genéticamente modificadas y las

bacterias promotoras del crecimiento de las plantas. El Dr. Azizoglu ha participado en numerosas conferencias y talleres y se ha desempeñado como revisor de revistas internacionales.





**E**l presente compendio científico “Biotecnología agropecuaria aplicada” aborda temas relevantes del área agropecuaria. Se hace énfasis en el aprovechamiento de microorganismos bacterianos y fúngicos y su potencial uso en los agroecosistemas. Estas aplicaciones con la finalidad de promover prácticas sustentables de producción, desde la promoción del crecimiento vegetal en condiciones ambientales adversas, el biocontrol de fitopatógenos y malezas, así como la biorremediación. También se exploran metodologías novedosas para la obtención de compuestos antioxidantes y antifúngicos. Además, se presentan avances en la elaboración de nuevos alimentos para la producción acuícola, como alternativas para la nutrición efectiva.

Los trabajos aquí presentados constituyen evidencias de los pasos sólidos que dan los diferentes grupos de investigación nacionales e internacionales del área de la biotecnología agropecuaria. Se agradece la participación de los autores que pertenecen al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII-CONAHCYT) de los Estados Unidos Mexicanos.



**Pantanal Editora**

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000  
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil  
Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)  
<https://www.editorapantanal.com.br>  
[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)