

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

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

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

Potencial del género *Pleurotus* como agente biorremediador en la eliminación de metales pesados de suelos: un enfoque biotecnológico para la agricultura sostenible

Recibido en: 18/06/2024

Aprobado en: 25/06/2024

 10.46420/9786585756365cap5

Pamela Romo-Rodríguez^{1*} 

Oscar Abraham Flores-Amaro² 

Francisco Javier Avelar-Gonzalez² 

RESUMEN

El género *Pleurotus* ha emergido como un potencial agente biorremediador en la eliminación de metales pesados del suelo, ofreciendo una perspectiva innovadora en la búsqueda de soluciones para la agricultura sostenible y su aplicación en la producción y conservación de alimentos. Su capacidad para absorber, acumular y biotransformar metales pesados convierte a los miembros de este género en candidatos prometedores para la recuperación de suelos contaminados y la mejora de la calidad de los alimentos. A través de mecanismos bioquímicos específicos, estos hongos pueden convertir los metales pesados en formas menos tóxicas o incluso eliminarlos completamente del entorno, contribuyendo así a la seguridad alimentaria. La investigación en este campo se ha centrado en la identificación de cepas con alta tolerancia y capacidad de acumulación de metales pesados, así como en la comprensión de los mecanismos subyacentes que les permiten sobrevivir y prosperar en ambientes contaminados. Se han llevado a cabo estudios detallados para evaluar el potencial de *Pleurotus* en la recuperación de suelos contaminados en diversas áreas, incluyendo zonas agrícolas, industriales y mineras, y su influencia en la calidad y seguridad de los alimentos producidos en estos suelos. La aplicación de *Pleurotus* como agentes biorremediadores en la producción y conservación de alimentos presenta varias ventajas significativas. En primer lugar, ofrece una solución sostenible y respetuosa con el medio ambiente para abordar la contaminación por metales pesados en el suelo, reduciendo la dependencia de métodos de remediación química más invasivos y promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles. El presente trabajo se centra en la capacidad de estos hongos para descomponer y transformar los metales pesados y la mejora en la calidad del suelo, promoviendo un entorno más favorable para el crecimiento de cultivos agrícolas y

¹ Tecnológico Nacional de México Campus Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México, CP: 20670.

² Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México, CP: 20100.

* Autor de correspondencia: pamela.rr@pabellon.tecnm.mx

garantizando la seguridad alimentaria. Este enfoque integrador entre biotecnología y conservación ambiental promete abrir nuevas perspectivas para la agricultura sostenible y la producción de alimentos seguros y saludables.

INTRODUCCIÓN AL POTENCIAL BIORREMIADOR DE *PLEUROTUS*

La contaminación del suelo con metales pesados es un problema ambiental de alcance global, derivado principalmente de actividades industriales, mineras y agrícolas (Masindi & Muedi, 2018). Las actividades industriales, como la fabricación de productos químicos, la metalurgia y la producción de energía, liberan grandes cantidades de metales pesados al medio ambiente a través de emisiones y vertidos; la minería, por su parte, es una fuente significativa de contaminación debido a la extracción y procesamiento de minerales, que a menudo involucra el uso de productos químicos tóxicos y genera residuos que contienen metales pesados; las prácticas agrícolas también contribuyen a este problema mediante el uso de pesticidas y fertilizantes que contienen metales pesados, los cuales se acumulan en el suelo a lo largo del tiempo; estos metales no solo persisten en el ambiente debido a su naturaleza no biodegradable, sino que también pueden movilizarse a través del agua y el aire, extendiendo su impacto a áreas geográficas distantes (Su, 2014; Li et al., 2019). Esta contaminación afecta la salud del suelo, disminuyendo su fertilidad y alterando su estructura, lo que a su vez impacta negativamente en la productividad agrícola y la biodiversidad del ecosistema. La presencia de metales pesados en el suelo también representa un riesgo para la salud humana, ya que pueden entrar en la cadena alimentaria a través de cultivos contaminados, afectando a las comunidades locales y a los consumidores a nivel global (Huertos & Baena, 2008). Estos contaminantes representan una amenaza significativa para la salud humana y la integridad de los ecosistemas terrestres, debido a su persistencia y toxicidad (Ortiz-Pescador, 2021; Flores-Hernández & Rodríguez-Bernilla, 2022). En este contexto, la búsqueda de soluciones efectivas y sostenibles ha llevado a investigar el potencial de organismos vivos, como los hongos del género *Pleurotus*, como agentes biorremediadores.

Los hongos del género *Pleurotus*, reconocidos por su capacidad para degradar una amplia gama de sustratos orgánicos, han emergido como candidatos prometedores en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Su capacidad inherente para colonizar y metabolizar contaminantes químicos ha sido objeto de numerosos estudios científicos y aplicaciones prácticas en entornos contaminados (Parte et al., 2017; Bayas-Tiñe & López-Bermello, 2017). Por ejemplo, investigaciones recientes han demostrado que *Pleurotus ostreatus* es capaz de acumular y transformar metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio en formas menos tóxicas, como complejos orgánico-metalados, a través de la acción de enzimas antioxidantes y quelantes (Vaseem et al., 2017; Vallejo-Aguilar et al., 2021).

La eficacia de *Pleurotus* como biorremediadores se ha evidenciado en diversos contextos. En una mina abandonada contaminada con plomo y cadmio, la aplicación de *Pleurotus eryngii* resultó en una

notable reducción de las concentraciones de metales pesados en el suelo, facilitando la recuperación de la vegetación nativa y la restauración del hábitat (Goligar et al., 2023). Asimismo, en suelos agrícolas contaminados con residuos de pesticidas que contienen metales pesados, la inoculación de *Pleurotus spp.* promovió la descomposición de los compuestos tóxicos y mejoró la calidad del suelo para el cultivo posterior (Fontalvo & Vera, 2017; Hernández-Castellanos et al., 2021).

A pesar de estos avances, la implementación de la biorremediación con *Pleurotus* presenta desafíos significativos. La velocidad de los procesos de remediación, la optimización de las condiciones ambientales y la escala de aplicación son aspectos que requieren atención continua. Sin embargo, con la investigación y el desarrollo tecnológico adecuados, es posible superar estas barreras y aprovechar plenamente su potencial como herramientas efectivas en la gestión de la contaminación por metales pesados en suelos (Gupta, 2014; Kapahi & Sachdeva, 2017).

Pleurotus ofrece una perspectiva estupenda en la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles para la remediación de suelos contaminados con metales pesados; su capacidad para tolerar, acumular y transformar estos contaminantes representa un valioso recurso en la restauración ambiental y la protección de la salud pública (Zhao et al., 2017). Sin embargo, se requiere un enfoque multidisciplinario y colaborativo para abordar los desafíos técnicos y logísticos asociados con la implementación de esta tecnología en escala.

CAPACIDAD DEL GENERO *PLEUROTUS* EN LA BIORREMEDIACIÓN

La comprensión detallada de los procesos mediante los cuales los hongos del género *Pleurotus* absorben, acumulan y biotransforman metales pesados en el suelo es esencial para desentrañar los mecanismos de la biorremediación y la ecología microbiana del suelo. A continuación se ahondará en los mecanismos bioquímicos subyacentes a esta característica, abordando los aspectos moleculares y fisiológicos de la interacción entre *Pleurotus* y los metales pesados en el entorno del suelo.

La absorción de metales pesados por parte de *Pleurotus* se inicia mediante un complejo proceso de interacción entre las hifas del hongo y los contaminantes presentes en el suelo. Las hifas, con su estructura micelial altamente ramificada y su superficie ricamente texturizada, actúan como un sitio de adsorción primario para los metales pesados (Marín-Castro et al., 2015). Los grupos funcionales presentes en la pared celular y la membrana plasmática de las hifas, como los grupos carboxilo y amino, interactúan electrostáticamente con los iones metálicos, facilitando su captura y transporte hacia el interior de la célula fúngica (Cañizares-Villanueva, 2000; Beltrán-Pineda & Gómez-Rodríguez, 2016). Una vez absorbidos, los metales pesados son acumulados y almacenados dentro de la biomasa; este proceso de acumulación se lleva a cabo principalmente en las vacuolas intracelulares, estructuras especializadas que actúan como reservorios de metales pesados en la célula (Kapahi & Sachdeva, 2017; Wang et al., 2019). Los metales pesados son acomplejados por ligandos orgánicos y proteínas de unión, reduciendo su toxicidad y

movilidad dentro del sistema biológico (Sharma et al., 2021). Por otro lado, la biotransformación de metales pesados en formas menos tóxicas es el resultado de una serie de procesos bioquímicos complejos, coordinados por enzimas específicas producidas por *Pleurotus*. Estas enzimas, que incluyen peroxidasas, catalasas y metalotioneínas, catalizan reacciones de oxidación-reducción y quelación que convierten los metales pesados en complejos orgánico-metalados o formas insolubles, que son menos biodisponibles y, por lo tanto, menos peligrosas para el medio ambiente y la salud humana (Mohamadhasani & Rahimi, 2022; El-Sayed et al., 2022) (Figura 1).

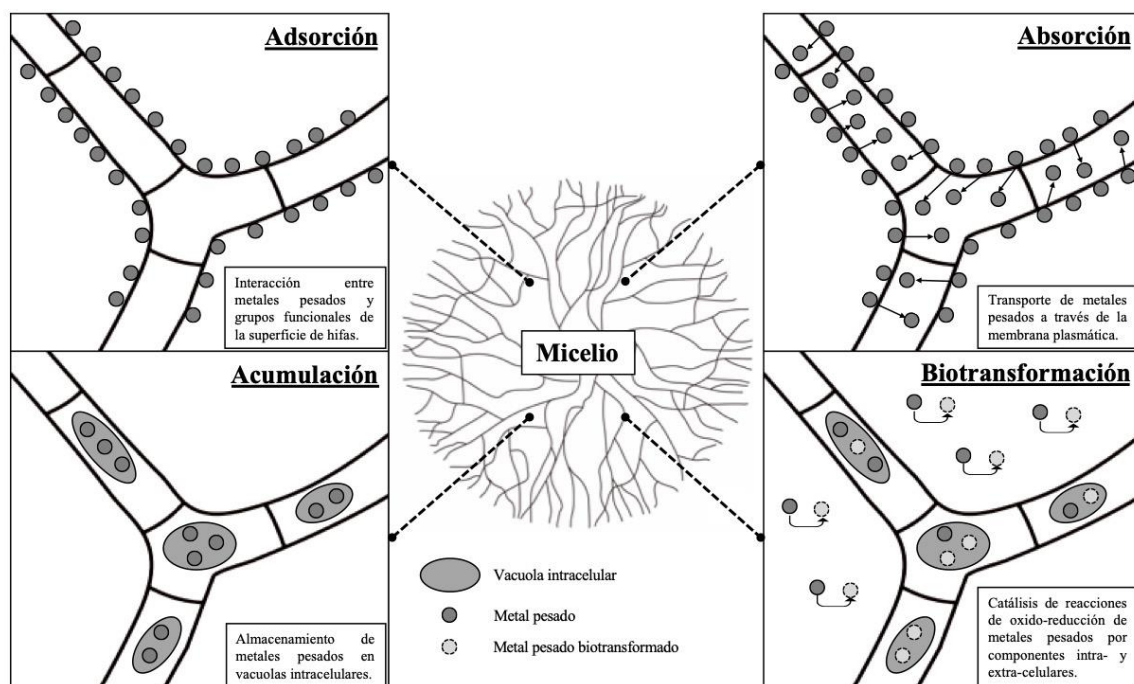


Figura 1. Resumen esquemático de los principales mecanismos de interacción entre *Pleurotus* y metales pesados.

La investigación sobre las cepas específicas de hongos del género *Pleurotus* con alta tolerancia y capacidad de acumulación de metales pesados ha revelado una diversidad sorprendente en las respuestas fisiológicas y bioquímicas de estos organismos; se han identificado cepas adaptadas a condiciones extremas de contaminación por metales pesados, que exhiben una capacidad excepcional para resistir, absorber y biotransformar estos contaminantes (Li, 2017). También se ha revelado la importancia de la plasticidad genética y la adaptación evolutiva en la respuesta de *Pleurotus* a la contaminación por metales pesados; se han observado variaciones significativas en la expresión génica y la actividad enzimática entre diferentes cepas y especies de *Pleurotus*, lo que sugiere una diversidad genética que puede ser explotada para mejorar la eficacia de la biorremediación en suelos contaminados (Huang et al., 2022). El análisis detallado de los mecanismos subyacentes a estas adaptaciones proporciona información valiosa para el desarrollo de estrategias de biorremediación más efectivas y específicas.

La exploración detallada de cómo *Pleurotus* absorben, acumulan y biotransforman metales pesados en formas menos tóxicas en el suelo revela un intrincado y fascinante entramado de procesos bioquímicos y fisiológicos. Esta comprensión profunda no solo contribuye al avance de la ciencia básica, sino que también ofrece nuevas perspectivas para el diseño y la implementación de estrategias de biorremediación efectivas y sostenibles en la gestión de la contaminación por metales pesados en los ecosistemas terrestres.

APLICACIONES BIORREMEDIADORAS EN DIFERENTES CONTEXTOS

El potencial uso del género *Pleurotus* en la recuperación de suelos contaminados es un campo en constante evolución, con aplicaciones prometedoras en diversos sectores, incluyendo la agricultura, la industria y la minería. Al examinar los avances en esta área, desde los estudios de laboratorio hasta las aplicaciones prácticas en el terreno, destaca el papel crucial que *Pleurotus* pueden desempeñar en la restauración de la calidad del suelo y la protección del medio ambiente. Estos hongos no solo tienen la capacidad de descomponer compuestos orgánicos complejos, sino también de absorber y acumular metales pesados, lo que los convierte en una herramienta valiosa para la biorremediación. Además, su cultivo es relativamente sencillo y económico, lo que facilita su implementación a gran escala.

Estudios que evalúan la capacidad de diferentes cepas de hongos *Pleurotus* para descontaminar suelos con altas concentraciones de metales pesados (Frazar, 2000), compuestos orgánicos tóxicos y otros contaminantes (Yadav et al., 2021), han demostrado consistentemente su capacidad para tolerar, absorber y biotransformar una amplia gama de contaminantes, convirtiéndolos en formas menos tóxicas y más estables en el suelo. A partir de estos estudios, se han llevado a cabo investigaciones a mayor escala para evaluar el potencial uso de *Pleurotus* en la recuperación de suelos contaminados en entornos reales (Hidalgo et al., 2023).

En el sector agrícola, por ejemplo, se han realizado estudios de campo para investigar el efecto de la inoculación de *Pleurotus* en la mejora de la calidad del suelo en áreas afectadas por el uso intensivo de agroquímicos y la acumulación de metales pesados (Ab-Rhman et al., 2021; Hu et al., 2021). Además, se ha explorado el uso de biorreactores como una solución innovadora y eficiente para la biorremediación de suelos contaminados. Los biorreactores permiten un control preciso de las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y el pH, optimizando así la actividad metabólica de los hongos *Pleurotus*. En estos sistemas, los suelos contaminados se mezclan con sustratos enriquecidos con nutrientes que favorecen el crecimiento de los hongos, facilitando la descomposición de contaminantes orgánicos y la absorción de metales pesados. Los biorreactores pueden ser diseñados para tratar grandes volúmenes de suelo de manera continua, lo que los hace ideales para aplicaciones a escala industrial y agrícola. Esta tecnología no solo mejora la eficiencia del proceso de biorremediación, sino que también reduce el tiempo necesario para la recuperación del suelo, ofreciendo una solución sostenible y económicamente viable

para mitigar la contaminación del suelo y restaurar su fertilidad y funcionalidad ecológica (Steffen & Toumela, 2011).

En la industria, *Pleurotus* han sido considerados como una herramienta viable para la biorremediación de suelos contaminados en áreas cercanas a instalaciones industriales, donde se han liberado contaminantes químicos como solventes, aceites y productos petroquímicos (Mohammadi-Sichani et al., 2019). Estudios han demostrado que su aplicación puede reducir significativamente las concentraciones de contaminantes en el suelo, restaurando así su calidad y promoviendo la recuperación de la vegetación nativa (Hidalgo et al., 2024). En el sector minero han mostrado un gran potencial para la rehabilitación de áreas afectadas por la actividad minera, donde la contaminación por metales pesados es un problema común, se ha demostrado que la inoculación de *Pleurotus* puede acelerar la descomposición de los residuos mineros, contribuyendo así a la restauración de los ecosistemas y la mitigación de los impactos ambientales negativos (Hu et al., 2021) (Figura 2).

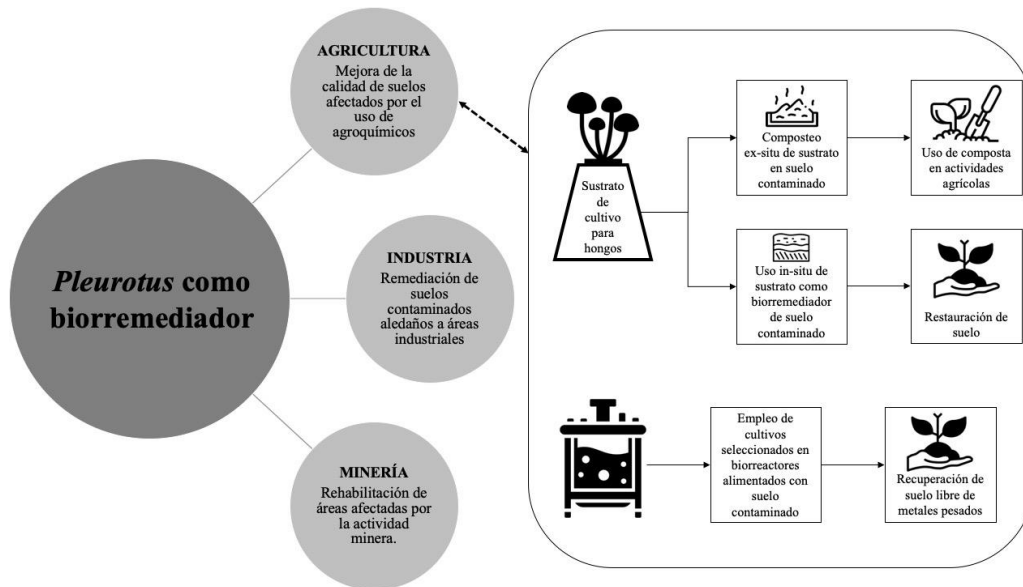


Figura 2. Esquema del potencial biorremediador del género *Pleurotus* en los contextos agrícola, industrial y minero, con énfasis en las estrategias para la mejora de suelos agrícolas.

Los estudios sobre el uso potencial de *Pleurotus* en la recuperación de suelos contaminados en diversas áreas son un testimonio del poder transformador de la biotecnología en la protección del medio ambiente. A medida que continuamos explorando y desarrollando nuevas aplicaciones para estos increíbles organismos, es evidente que *Pleurotus* tienen un papel crucial que desempeñar en la construcción de un futuro más limpio y sostenible.

IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN Y CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

La aplicación de hongos del género *Pleurotus* como agentes biorremediadores en la recuperación de suelos contaminados no solo tiene el potencial de restaurar la salud del suelo y proteger el medio

ambiente, sino que también puede tener impactos significativos en la producción de alimentos y en la conservación de los recursos naturales. Esto implica la discusión de los múltiples beneficios y desafíos asociados con el uso de *Pleurotus* en la gestión de la calidad del suelo y su influencia en la producción agrícola y la conservación de la biodiversidad.

En primer lugar, la aplicación de *Pleurotus* como agentes biorremediadores puede mejorar la calidad del suelo al reducir la concentración de metales pesados que pueden ser perjudiciales para la salud de las plantas y la vida del suelo; al transformarlos en formas menos tóxicas y más estables, *Pleurotus* ayudan a restablecer el equilibrio químico y biológico del suelo, creando un ambiente propicio para el crecimiento de plantas saludables y la diversidad microbiana (Tomer et al., 2021). Además, la presencia *Pleurotus* en el suelo puede influir positivamente en la producción de alimentos al mejorar la disponibilidad de nutrientes y promover un mejor desarrollo de las plantas (Ritota & Manzi, 2019; Tomer et al., 2021); estos tienen la capacidad de descomponer materia orgánica y liberar nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, que son esenciales para el crecimiento de las plantas y su actividad enzimática puede mejorar la estructura del suelo y aumentar su capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que beneficia directamente a los cultivos agrícolas (Zainol et al., 2017, Bellettini et al., 2019; Muswati et al., 2021). Por otro lado, la aplicación de *Pleurotus* como agentes biorremediadores también puede contribuir a la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas naturales al reducir los impactos negativos de la contaminación del suelo en la flora y fauna silvestres; al restaurar la salud del suelo y promover la recuperación de la vegetación nativa estos hongos ayudan a crear hábitats más saludables y resistentes a largo plazo, lo que beneficia a una variedad de especies de plantas y animales (Hu et al., 2021; Malik et al., 2021).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la aplicación de *Pleurotus* como agentes biorremediadores también plantea desafíos y consideraciones éticas. La seguridad alimentaria, la selección adecuada de cepas fúngicas, los efectos a largo plazo en el suelo y la regulación ambiental son aspectos que deben abordarse cuidadosamente para garantizar que los beneficios de esta tecnología superen los posibles riesgos y limitaciones (Sekani et al., 2019). *Pleurotus* como agentes biorremediadores tienen el potencial de mejorar significativamente la calidad del suelo, influir en la producción de alimentos y contribuir a la conservación de los recursos naturales. A medida que continuamos explorando y desarrollando nuevas aplicaciones para esta tecnología innovadora, es fundamental adoptar un enfoque holístico y colaborativo que tenga en cuenta tanto los beneficios como los desafíos asociados con su implementación en diferentes contextos agrícolas y ambientales.

CONCLUSION: VENTAJAS Y PERSPECTIVAS FUTURAS EN AGRICULTURA SOSTENIBLE

La aplicación de hongos del género *Pleurotus* en la biorremediación ofrece una serie de ventajas significativas que van más allá de la simple descontaminación del suelo, con implicaciones importantes

para la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria. Este análisis examina detalladamente estas ventajas y explora las perspectivas futuras de esta tecnología innovadora en la promoción de sistemas agrícolas más resilientes y seguros para el futuro.

En primer lugar, la utilización de *Pleurotus* en la biorremediación presenta ventajas únicas en términos de eficacia y sostenibilidad. Estos hongos tienen la capacidad de absorber, acumular y biotransformar una amplia gama de contaminantes químicos y metales pesados en el suelo, lo que resulta en una remediación efectiva y de bajo costo en comparación con los métodos convencionales. Además, son organismos naturales y no invasivos que se integran fácilmente en los ecosistemas existentes, minimizando los impactos ambientales negativos asociados con la remediación química o mecánica. Estos hongos también ofrecen beneficios adicionales para la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria ya que tienen la capacidad única de descomponer materia orgánica y liberar nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, lo que mejora la fertilidad y la estructura del suelo y promueve el crecimiento saludable de los cultivos; su actividad enzimática puede aumentar la biodisponibilidad de nutrientes para las plantas, lo que resulta en un mayor rendimiento de los cultivos y una mayor resistencia a enfermedades y condiciones adversas.

Desde una perspectiva futura, el uso de *Pleurotus* en la biorremediación tiene el potencial de transformar los sistemas agrícolas hacia modelos más sostenibles y resilientes. Al promover la salud del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes y productos químicos sintéticos, estos pueden ayudar a mitigar los impactos negativos de la agricultura intensiva en el medio ambiente y la salud humana; al mejorar la calidad del suelo y aumentar la productividad de los cultivos, esta tecnología puede contribuir significativamente a la seguridad alimentaria global, proporcionando alimentos nutritivos y de calidad a una población en crecimiento.

En conclusión, el análisis de las ventajas de utilizar *Pleurotus* en la biorremediación revela un potencial significativo para promover la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria en el futuro. Al integrar esta tecnología innovadora en los sistemas agrícolas existentes y adoptar un enfoque holístico hacia la gestión del suelo y los recursos naturales, podemos crear un futuro más resiliente y seguro para las generaciones venideras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores extienden un agradecimiento al Fondo Estatal de Innovación Tecnológica 2024 del Estado de Aguascalientes, México, por su apoyo para desarrollar este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Ab Rhaman, S. M. S., Naher, L., & Siddiquee, S. (2021). Mushroom quality related with various substrates' bioaccumulation and translocation of heavy metals. *Journal of Fungi*, 8(1), 42.

- Bayas Tiñe, F. R., & López Bermello, A. D. (2017). Comparación de la efectividad del hongo *Pleurotus ostreatus* y *Trichoderma harzianum* en la disminución de concentración de metales pesados en lodos de lixiviación de un relleno sanitario (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Bellettini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnior, A. M. & Ribani, R. H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(4), 633-646.
- Beltrán-Pineda, M. E., & Gómez-Rodríguez, A. M. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172-197.
- Cañizares-Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana De Microbiología-Mexico*, 42(3), 131-143.
- El-Sayed, M. T., Ezzat, S. M., Taha, A. S., & Ismaiel, A. A. (2022). Iron stress response and bioaccumulation potential of three fungal strains isolated from sewage-irrigated soil. *J Appl Microbiol*, 132, 1936-1953.
- Flores Hernández, Y. L., & Rodríguez Bernilla, M. (2022). Modelos usados en fitorremediación de metales pesados en suelo, revisión sistemática, 2022.
- Fontalvo, J. L., & Vera, S. (2017). Biodegradación de toxafeno por hongos de la pudrición blanca. *Suelos Ecuatoriales*, 47(1 y 2), 72-77.
- Frazar, C. (2000). *The bioremediation and phytoremediation of pesticide-contaminated sites* (p. 55). Washington, DC: US Environmental Protection Agency.
- Goligar, N., Saadatmand, S., & Khavarinejad, R. A. (2023). Mycoremediation of lead and cadmium by lignocellulosic enzymes of *Pleurotus eryngii*. *AMB Express*, 13(1), 127.
- Gupta, R. K. (2014). *Bioremediation of Heavy Metals through Cultivated and Wild Mushroom* (Doctoral dissertation, MPUAT, Udaipur).
- Hernández Castellanos, J. L., Cuervo González, R., Montañez Soto, J. L., Hernández Castellanos, N. D., Pérez Vargas, M. A., Cruz Hernández, A., & Chaires Martínez, L. (2021). Biodegradación de plaguicidas organofosforados y organoclorados por *Candida tropicalis* y *Stenotrophomonas maltophilia* en microcosmos del suelo. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 37.
- Hidalgo, J., Artetxe, U., Becerril, J. M., Gomez-Sagasti, M. T., Epelde, L., Vilela, J., & Garbisu, C. (2024). Biological remediation treatments improve the health of a mixed contaminated soil before significantly reducing contaminant levels. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(4), 6010-6024.
- Hidalgo, J., Epelde, L., Anza, M., Becerril, J. M., & Garbisu, C. (2023). Mycoremediation with *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* growth substrates versus phytoremediation with *Festuca rubra*

- and Brassica sp. for the recovery of a Pb and γ -HCH contaminated soil. *Chemosphere*, 327, 138538.
- Hu, Y., Mortimer, P. E., Hyde, K. D., Kakumyan, P., & Thongklang, N. (2021). Mushroom cultivation for soil amendment and bioremediation. *Circular Agricultural Systems*, 1(1), 1-14.
- Huang, X. H., Xu, N., Feng, L. G., Lai, D. N., Wu, F., Xu, D., & Guo, X. (2022). The Activity and Gene Expression of Enzymes in Mycelia of *Pleurotus Eryngii* under Cadmium Stress. *Sustainability*, 14(7), 4125.
- Huertos, E. G., & Baena, A. R. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *MACLA, revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 10, 48-60.
- Kapahi, M., & Sachdeva, S. (2017). Mycoremediation potential of *Pleurotus* species for heavy metals: a review. *Bioresources and bioprocessing*, 4(1), 32.
- Li, X., Wang, Y., Pan, Y., Yu, H., Zhang, X., Shen, Y., Jiao, S., Wu, K., La, G., Yuan, Y. & Zhang, S. (2017). Mechanisms of Cd and Cr removal and tolerance by macrofungus *Pleurotus ostreatus* HAU-2. *Journal of hazardous materials*, 330, 1-8.
- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., & Han, W. (2019). A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28(4), 380-394.
- Malik, N. A., Kumar, J., Wani, M. S., Tantray, Y. R., & Ahmad, T. (2021). Role of Mushrooms in the Bioremediation of Soil. *Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly Tools for Reclamation of Degraded Soil Environs*, 77-102.
- Marín-Castro, M., Tamaríz, V., Castelán, R., & Linares, G. (2015). Isotermas de adsorción de Pb y Cr por la biomasa de tres cepas del hongo de la pudrición blanca *Pleurotus* spp.
- Masindi, V., & Muedi, K. L. (2018). Environmental contamination by heavy metals. *Heavy metals*, 10(4), 115-133.
- Mohamadhasani, F., & Rahimi, M. (2022). Growth response and mycoremediation of heavy metals by fungus *Pleurotus* sp. *Scientific Reports*, 12(1), 19947.
- Mohammadi-Sichani, M. E., Mazaheri Assadi, M., Farazmand, A., Kianirad, M., Ahadi, A. M., & Hadian-Ghahderijani, H. (2019). Ability of *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* and *Ganoderma lucidum* compost in biodegradation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil. *International journal of environmental science and technology*, 16, 2313-2320.
- Muswati, C., Simango, K., Tapfumaneyi, L., Mutetwa, M., & Ngezimana, W. (2021). The effects of different substrate combinations on growth and yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *International Journal of Agronomy*, 2021(1), 9962285.
- Ortiz Pescador, J. J. (2021). Bioprospección de biosurfactantes con aplicaciones ambientales, revisión del estado del arte periodo 2010–2020.

- Parte, S. G., Mohekar, A. D., & Kharat, A. S. (2017). Microbial degradation of pesticide: a review. *African journal of microbiology research*, 11(24), 992-1012.
- Ritota, M., & Manzi, P. (2019). *Pleurotus* spp. cultivation on different agri-food by-products: Example of biotechnological application. *Sustainability*, 11(18), 5049.
- Sekan, A. S., Myronycheva, O. S., Karlsson, O., Gryganskyi, A. P., & Blume, Y. (2019). Green potential of *Pleurotus* spp. in biotechnology. *PeerJ*, 7, e6664.
- Sharma, P., Pandey, A. K., Udayan, A., & Kumar, S. (2021). Role of microbial community and metal-binding proteins in phytoremediation of heavy metals from industrial wastewater. *Bioresource technology*, 326, 124750.
- Steffen, K., & Tuomela, M. (2011). Fungal soil bioremediation: developments towards large-scale applications. *Industrial Applications*, 451-467.
- Su, C. (2014). A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. *Environmental Skeptics and Critics*, 3(2), 24.
- Tomer, A., Singh, R., Singh, S. K., Dwivedi, S. A., Reddy, C. U., Keloth, M. R. A., & Rachel, R. (2021). Role of fungi in bioremediation and environmental sustainability. *Mycoremediation and Environmental Sustainability: Volume 3*, 187-200.
- Vallejo Aguilar, M. D. L. L. A., Marín Castro, M. A., Ramos Cassellis, M. E., Silva Gómez, S. E., Ibarra Cantún, D., & Tamariz Flores, J. V. (2021). Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(2), 275-289.
- Vaseem, H., Singh, V. K., & Singh, M. P. (2017). Heavy metal pollution due to coal washery effluent and its decontamination using a macrofungus, *Pleurotus ostreatus*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 145, 42-49.
- Wang, Y., Yi, B., Sun, X., Yu, L., Wu, L., Liu, W., Wang, D., Li, Y., Jia, R., Yu, H. & Li, X. (2019). Removal and tolerance mechanism of Pb by a filamentous fungus: a case study. *Chemosphere*, 225, 200-208.
- Yadav, P., Rai, S. N., Mishra, V., & Singh, M. P. (2021). Mycoremediation of environmental pollutants: A review with special emphasis on mushrooms. *Environmental Sustainability*, 1-14.
- Yang, S., Sun, X., Shen, Y., Chang, C., Guo, E., La, G., Zhao, Y. & Li, X. (2017). Tolerance and removal mechanisms of heavy metals by fungus *Pleurotus ostreatus* Haas. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228, 1-9.
- Zainol, N., Ameen, M. F. M., Rahman, S. A., Rinalto, M. A., & Nor, N. S. M. (2017). Factorial Analysis on Processing Factors for Nitrogen, Phosphorus and Potassium Contents in Mushroom Waste. *Journal of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology*, 1(1), 42-56.

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

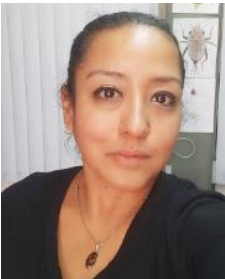
transgénicos, 139



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.



El 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