

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

Trichoderma, bioinsumo para la agricultura sustentable y protegida

Recibido en: 21/06/2024


Aprobado en: 25/06/2024


 10.46420/9786585756365cap10

Georgina I. Rodríguez Muñoz¹ 

Gabriel Ramírez Pimentel¹ 


Erika Cañada Coyote¹ 

Cesar L. Aguirre Mancilla¹ 

Luis Antonio Mariscal Amaro¹ 

Mariano Mendoza Elos¹ 

Leandris Argente-Martínez² 

Ofelda Peñuelas-Rubio² 

RESUMEN

Algunas especies del género *Trichoderma* son reconocidas como excelentes bioinsumos, presentan una amplia gama de posibilidades agroecológicas e industriales, su rápida velocidad de crecimiento eficientiza su capacidad en el control biológico. Los mecanismos de acción de *Trichoderma* le confieren capacidad micoparasitaria y adelfoparasitaria, lo cual está asociado a la producción de metabolitos secundarios y enzimas líticas. Otra de las características de interés de *Trichoderma* es su producción de enzimas celulasas, las cuales son utilizadas para degradar lodo paplero y restos vegetales. *Trichoderma* es bioestimulante y bioremediador, lo que le otorga una posición preponderante en la búsqueda de alternativas viables en el bienestar de cultivos de interés comercial; muchos de los cuales se ven asolados por fitopatógenos, que han desarrollado resistencia a los agrotóxicos.

Ampliar el conocimiento acerca de hongos cosmopolitas y versátiles como *Trichoderma* spp. es contribuir a vislumbrar alternativas que contribuyan a una producción alimentaria con un diseño de agricultura sustentable, la cual es ampliamente promovida a nivel internacional por sus ventajas a la salud ambiental y humana. Esta investigación tuvo como objetivo ampliar el estado del arte sobre el conocimiento de *Trichoderma* hongo endófito que es buen competidor en suelo, promotor de crecimiento vegetal e indicador de resistencia y del que aún hay aspectos de interés a nivel biológico, ecológico y biotecnológico.

¹ Tecnológico Nacional de México/ IT de Roque, km 8, Carr. Celaya-Juventino Rosas, Celaya, Gto. C.P. 38110.

² Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, Bácum, Sonora, México

INTRODUCCIÓN

La frecuencia e intensidad de pérdidas agrícolas causadas por enfermedades, plagas y desastres naturales, aumento en el año 2021, represento una pérdida económica significativa de 19, 300 millones de dólares estadounidenses. Según datos de 22 países, el porcentaje de alimentos que se pierden tras la cosecha en la agricultura industrializada durante las etapas de transporte, almacenamiento, venta en mercados internacionales y elaboración industrializada de productos, en el año 2021 fue de 13,2 % a nivel mundial, frente al 13 % del año 2016 (FAO, 2023).

Además de lo anterior se vislumbra el panorama de sequía a nivel mundial. En México en la primera quincena de marzo del año 2024, el porcentaje de cobertura con sequía moderada a excepcional a nivel nacional fue de 58.17%, aumentando un 1.53% a lo registrado a finales de febrero del mismo año (CONAGUA, 2023); Lo que sumado a la afectación del 20 y 30% de la producción agrícola anual, la cual, en muchos casos es afectada por enfermedades causadas por hongos, bacterias, nematodos, virus y plagas de insectos que han desarrollado resistencia al uso indiscriminado de plaguicidas (Dieleman, 2016); los cuales se movilizan y transfieren a través del aire, suelo y agua hacia diversos ecosistemas terrestres y acuáticos como ríos, lagos y zonas costeras (Arrona-Rivera et al., 2016). Diversos agrotóxicos se han usado indiscriminadamente a nivel internacional, registrándose más de 6,400 ingredientes activos en su elaboración, los cuales al combinarse con compuestos “inertes” resultan en más de 100,000 productos comerciales, los cuales son aplicados en los campos de cultivo, en muchos casos sin contar con el conocimiento técnico de los efectos nocivos de su aplicación (García-Hernández, 2018). Los agroquímicos causan residualidad, toxicidad, estrés oxidativo y neurotoxicidad (Gonçalves et al., 2020), Su uso excesivo ha causado una presión en la selección impuesta a diversos géneros de insectos, lo que ha propiciado la generación de genotipos resistentes (Tabashnik et al., 2008). Además de causar alteraciones fisiológicas y trastornos en el comportamiento de los organismos (Eaton y Gilbert, 2013). Afectan negativamente las funciones microbianas del suelo y sus procesos bioquímicos (Jamil, 2021), lo que repercute en la producción y suministro de alimentos a nivel internacional, además de pérdidas millonarias (Rolleri, 2021). Dicho panorama pone en riesgo la seguridad alimentaria en un contexto internacional, resulta inminente transitar hacia una agricultura consciente que contribuya a la sustentabilidad y sea capaz de abordar enfoques ecológicos congruentes con el panorama actual que enfrenta la biodiversidad, incluyendo a la especie humana (Villalobos-López et al., 2022).

La agricultura protegida pone énfasis en el uso de bioinsumos y micro-organismos biocontroladores como *Trichoderma* spp., habitante predominante en la micoflora de suelos nativos y agrícolas de diversas zonas climáticas del mundo (Benítez et al., 2004).

Las especies de *Trichoderma* juegan un rol especial en la salud de los ecosistemas (Contreras-Cornejo, 2011), presentan una amplia adaptabilidad, habitan en la rizosfera de diversos ecosistemas e

interactúa con otras especies, presentan endofitismo, micoparasitismo, e incluso adelfoparasitismo, por lo que resultan de interés agroecológico, biotecnológico y agroindustrial (Zin & Badaluddin, 2020).

Se ha documentado su resistencia a estrés oxidativo y su importante producción de compuestos bioactivos, enzimas hidrolíticas, elicitors y compuestos volátiles, lo que les confiere ser una alternativa al uso de pesticidas (Aslenis-Melo et al., 2015). *Trichoderma* spp. ha demostrado ser un buen biocontrolador de especies patógenas como: bacterias, hongos y nematodos. *Trichoderma* spp. es promotor de mecanismos activadores del sistema de defensa de las plantas, lo que contribuye al control biológico indirecto (Villalobos-Lobos et al., 2022). Se ha observado la capacidad de *Trichoderma* spp. para solubilizar nutrientes como el fósforo e inducción de la producción de reguladores de crecimiento vegetal, por lo que se le considera un excelente bioestimulante (Macheleidt et al., 2016). Además, este hongo induce en las plantas tolerancia ante diversos tipos de estrés biótico y abiótico e incluso la remediación de diversos tóxicos orgánicos e inorgánicos (metales pesados) presentes en el suelo (Babu, 2014).

Innovaciones agrícolas como lo es el uso de hongos antagonistas como *Trichoderma harzianum*, contribuyen al uso sustentable de los recursos naturales, la protección de la biodiversidad y el aumento de la resistencia de plantas al cambio climático, lo que contribuye al desarrollo de la agricultura sostenible, pues protege a los cultivos del ataque de patógenos y promueve su crecimiento (Di Lelio, 2021).

Importancia de Trichoderma en la agricultura sustentable y protegida

Actualmente se estudia la viabilidad de productos elaborados a base de microorganismos que disminuyan de forma efectiva, enfermedades en campo e invernadero (Salazar, 2011). *Trichoderma* es eficiente antagonista fitopatógena, muy usado en la agricultura moderna, las formulaciones obtenidas mediante técnicas biotecnológicas han promovido el interés en la investigación y el desarrollo de la agricultura sostenible (Companioni-González, 2019). La cual pone en marcha estrategias y tecnologías que contribuyan al resguardo de la seguridad alimentaria mundial (Právělie, 2021). La tecnificación agrícola aplicada a los cultivos que busca un uso eficiente de recursos y promueve la sustentabilidad, es la mejor opción para mantener un control eficiente de los efectos que se manifiestan por los factores bióticos y abióticos, lo que se traduce en un aumento de la productividad, sobre todo en cultivos de hortalizas. Otra de las ventajas que tiene el uso de biocontroladores, es que hay mayor eficiencia en el uso de agua, mayor control de la producción y de la calidad de los productos, lo que se traduce en ganancias económicas (Liang, 2020).

El estudio de la diversidad de especies de *Trichoderma* en diversos hábitats naturales, permite ampliar el conocimiento sobre su aporte biotecnológico, y su importancia ecológica y agrícola (Jaklitsch & Voglmayr, 2015; Torres-De la Cruz et al., 2015).

Aspectos generales de Trichoderma

La mayoría de las especies de *Trichoderma* se desarrollan rápidamente y emiten grandes cantidades de pequeños conidios. Al inicio de su crecimiento el color que predomina es blanco, debido al crecimiento del micelio, a partir de su proceso de maduración su coloración varía de amarillo a verde por la formación de células conidiógenas enteroblásticas fialídicas. En determinadas condiciones de estrés, ya sea, lumínico, nutricional o por desecación, el micelio se diferencia en unas estructuras asexuales de resistencia denominadas clamidosporas que presentan forma globosa con pared rugosa y más gruesa que la de los conidios, y tienen gran importancia en la supervivencia del hongo, ya que son resistentes a condiciones desfavorables (Al-Any, 2018). *Trichoderma* spp. presenta alta actividad saprotrófica, el crecimiento apical puede alcanzar velocidades superiores a 1 $\mu\text{m/s}$ (Vuppala et al., 2015). Además, presenta un rápido crecimiento del micelio y abundante capacidad de esporulación, y la mayoría de sus especies son tolerantes a un rango de temperatura de 25 a 31 °C y un pH de 4 a 8 (Benítez et al., 2004), dichos parámetros pueden variar de acuerdo a los diversos aislamientos y especies. Este hongo, crece en una amplia gama de sustratos, demostrando su amplia capacidad de adaptabilidad a diferentes ecosistemas y condiciones (Elkhateeb, 2021). Coloniza una amplia gama de nichos, incluidas plantas vivas y muertas, suelo, sedimento, materia orgánica, tejido animal, entre otros (Wang & Zhuang, 2020; Nuangmek et al., 2021), Se han detectado especies de *Trichoderma* en ambientes marinos (Kim et al., 2020), su éxito adaptativo en diversas interacciones heterótrofas, incluyen la descomposición, el parasitismo e incluso el endofitismo oportunista (Karthikeyan et al., 2008).

Entre las 377 especies de *Trichoderma* que han sido identificadas, se han encontrado un aproximado de 20 a 30 especies en suelos como saprofitos oportunistas ecológicos, asociados a la rizosfera, avirulentos para las plantas y que pueden ser útiles en la agricultura (Zamioudis & Pieterse, 2012). *Trichoderma* spp, puede ser utilizado en agricultura convencional, no obstante, se debe considerar que la variación de los factores bióticos y abióticos pueden repercutir en la biología del organismo lo que presenta el riesgo de afectar su viabilidad y eficacia (Trushina et al., 2013). *Trichoderma*, es fotosensible (Domsch et al., 1980), presenta un mejor desarrollo en condiciones de luz día o UV tipo A 366 nm (Fonseca, 1998). La exposición permanente a la luz, genera una distribución constante y uniforme de conidios en el medio, mientras que la oscuridad, si bien no afecta de manera negativa el crecimiento de este hongo, no estimula el proceso de producción de conidios y por el contrario lo inhibe (Betina, 1995). Las respuestas fisiológicas tempranas inducidas por la luz dan lugar a eventos moleculares demostrado un incremento en los niveles de Adenosín monofosfato cíclico (AMPc) intracelular, la activación de la enzima ciclasa, la fosforilación de proteínas, cambios en el potencial de membrana, variaciones en los niveles de ATP y la transcripción diferencial de genes (Berrocal-Tito et al., 2000). La respuesta al estímulo luminoso en *T. atroviride* está regulada por las proteínas BLR-1 y BLR-2 (Blue Light Regulator), ortólogas a las proteínas WC-1 y WC-2 (White Collar) descritas en *Neurospora crassa* (Casas-Flores et al., 2004; Castellanos et al.,

2010). Por la homología que presenta la proteína BLR-1 con WC-1 de *N. crassa*, se ha propuesto que ésta actúa como fotorreceptor, pero se requiere de ambas proteínas para conformar el sistema activo de fotorecepción. En *Trichoderma* el complejo BLR-1/BLR-2 (BLRC) interactúa con el ADN a través de los dominios de dedo de zinc tipo GATA que contienen; regulando así la expresión génica (Casas-Flores et al., 2004). Las cepas de *T. atroviride*, nulas en los genes codificantes de las proteínas BLR-1 y BLR-2 ($\Delta blr-1$ y $\Delta blr-2$) pierden la capacidad de fotoconidiar, su desarrollo colonial se caracteriza por un micelio hialino sin conidios. Así, estas mutantes son consideradas "ciegas" al estímulo luminoso (Casas-Flores et al., 2004). El estrés nutricional también induce la formación de conidios en *T. atroviride* (Casas-Flores et al., 2006). La capacidad de solubilizar y utilizar al ión fosfato ha sido estudiada en varias especies del género *Trichoderma* y representa una ventaja de adaptación ambiental para el género (Rawat et al., 2011). Sin embargo, poco se sabe sobre el efecto que tiene este ión sobre la producción de conidios o de las rutas de transducción asociadas a la regulación del fenómeno de captación de fosfato inorgánico (Pi) en la asociación simbiótica con *Trichoderma*.

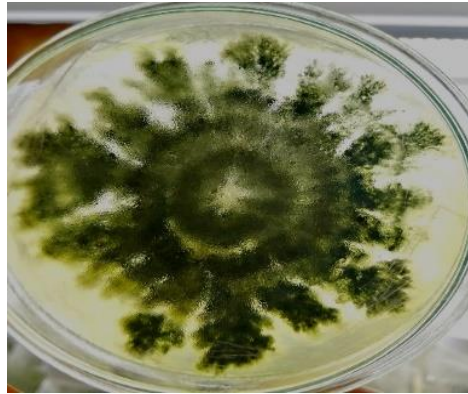


Figura 1. Crecimiento de *Trichoderma harzianum* en medio agar papa dextrosa (PDA).



Figura 2. Crecimiento de *Trichoderma harzianum* en una semilla de *Solanum lycopersicum*

La taxonomía e identificación de especies de *Trichoderma* es un tema complejo, por lo abundante de la homoplasia en los caracteres fenéticos, dado que el número de especies morfológicamente distintas es significativamente menor que el número de especies filogenéticamente distintas, reconocidas mediante

métodos de análisis de secuencias de genes (Druzhinina et al., 2006). Los métodos de identificación morfológica de especies de *Trichoderma* se han reforzados con técnicas moleculares, como la identificación de las regiones ITS1 e ITS2 separadas por el gen 5.8S del rRNA ribosomal (ITS, Internal Transcribed Spacer). El resultado es la reclasificación de cepas de este hongo (White et al., 1990; Kullnig et al., 2001; Druzhinina et al., 2006). Varias especies de *Trichoderma* han demostrado su validez como agente de biocontrol *Trichoderma* ha demostrado su eficiencia como agentes de biocontrol frente a un amplio rango de hongos fitopatógenos, lo que le confiere posicionarse como una alternativa viable al uso de agroquímicos. Los elementos traza requeridos para el crecimiento de los hongos en general incluyen hierro zinc, cobre molibdeno y manganeso en concentraciones muy pequeñas cercanas a 10^{-9} M. Dentro de las vitaminas necesarias para su desarrollo se encuentran tiamina (B6), piridoxina (B6), ácido nicotínico (B3), ácido pantoténico (B5), riboflavina (B2), cianocobalmina (B12) y ácido aminobenzoico (Agamez et al., 2008) *Trichoderma reesei*, secreta una amplia gama de enzimas que se necesitan en la descomposición de celulosa a azúcares solubles más pequeños (Zhang et al., 2012). La amplia biodiversidad del género *Trichoderma* refleja su vasta gama de enzimas involucradas en el proceso de micoparasitismo y de su modo de acción sinérgico en lo concerniente a la degradación de la pared celular de hongos fitopatógenos (Zamioudis & Pieterse, 2012).

Cepas de Trichoderma spp.

El Tecnológico Nacional de México campus Roque resguarda cepas de *Trichoderma harzianum* TH1TR001, registrada en el banco de referencia NCBI con número MH282575, las cuales fueron mutadas a través del método Metano sulfonato de etilo (MSE), en los laboratorios de posgrado del TecNMRoque (Cañada-Coyote et al., 2021). Se han realizado re-aislamientos de cuatro cepas de *Trichoderma spp.* las cuales han presentado ser agentes de bio-control y de bio-estimulación.

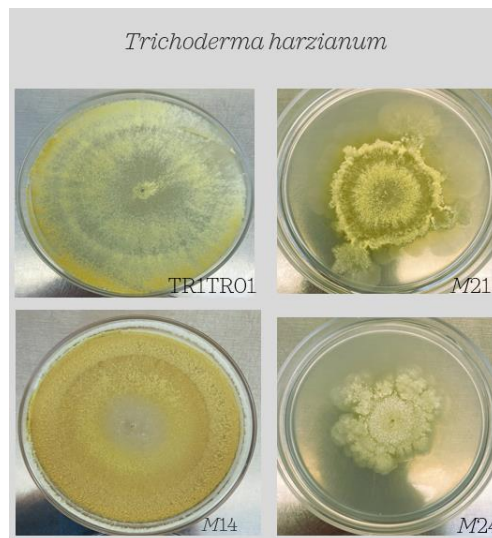


Figura 1. Crecimiento de las cepas nativa TH1TR001 y las Mutantes 14, 21 y 24 en medio Agar Papa Dextrosa (PDA)

Las cepas de *Trichoderma* spp. presentan hifas hialinas, septadas, conidióforos hialinos ramificados no verticilados, fiálides individuales o en grupo, y conidios libres de una célula nacidos en pequeños grupos terminales (Torres-De la Cruz et al., 2015). Cabe señalar que, aunque la certeza de las investigaciones genéticas es de gran apoyo para la identificación taxonómica de estos hongos saprofitos (García-Nuñez et al., 2007) la caracterización morfológica continúa siendo una importante herramienta para diversos estudios.

Mecanismos de acción de Trichoderma spp.

Las características antagónicas que presentan las especies de *Trichoderma* spp, se basan en sus mecanismos de acción, dentro de los que resaltan la competencia por nutrientes o espacio, el micoparasitismo y la antibiosis, estos tres mecanismos no son excluyentes, sino que actúan sinérgicamente en el control de los patógenos (Harman, 2000). *Trichoderma* coloniza la rizosfera de las plantas, consume exudados que son segregados en ese microecosistema. La competencia por nutrientes puede ser por nitrógeno, carbohidratos no estructurales y microelementos (Borges Chagas et al., 2017). La actividad antifúngica de *Trichoderma* se conoce con el termino de micoparasitismo o micotrofismo los cuales implica el crecimiento trófico del agente de biocontrol hacia el hongo objetivo, el reconocimiento del patógeno mediado por una lectina y la adherencia de las hifas en torno al patógeno mediante la formación de estructuras parecidas a ganchos u apresorios, en los que se llevan a cabo mecanismos enzimáticos que penetran y disuelven la pared celular, la vacuolización y desintegración del citoplasma dando lugar a la lisis celular de los hongos fitopatógenos (Zin, 2020).

Durante la antibiosis actúan enzimas hidrolíticas como: proteasas, quitinasa y β -1-3 glucanasa causando la desintegración de la pared celular en las hifas del patógeno, para luego ser parasitadas por *Trichoderma*, (Harman, 2000). Así también se ha estudiado la secreción de la enzima exo- α -1,3 glucana y endo- β -1,6 glucanasa por el hongo *T. harzianum*; estas enzimas muestran actividad lítica y antifúngica contra fitopatógeno, degradan las hifas y desorganizan las estrategias de ataque que los patógenos despliegan contra plantas, produciendo un efecto adverso en la diferenciación y desarrollo de los fitopatogenos (Guigón-López & González-González, 2003; Michel-Aceves et al., 2008).

Algunas cepas de *Trichoderma* producen metabolitos secundarios volátiles y no volátiles, con actividad antimicrobiana y defensa vegetal, destacando diterpenos tetracíclicos (por ejemplo, harziandiona), sesquiterpenos (por ejemplo, tricotecenos, tricodermin, y harzianum A), y el triterpeno viridina (Zeilinger et al., 2016), algunos inhiben el desarrollo de microorganismos patógenos e incluso nematodos. Se ha descrito que *Trichoderma* spp. produce numerosos antibióticos como gliotoxina, viridina trichodermina, suzukacilina, alameticina, dermadina y trichotecenos (Vargas et al., 2014, Zeilinger et al., 2016).

También producen enzimas de interés industrial, como celulasas, xilanasas y lacasas, las cuales pueden ser utilizadas para la degradación de materiales lignocelulósicos, como la paja, el bagazo o el papel, y para el tratamiento de efluentes contaminados con compuestos fenólicos o colorantes (Hernández-Melchor 2019). Se ha purificado, caracterizado y clonado una proteína extracelular de *Trichoderma asperellum*, con actividad x-1,3-glucanasa, que es distinta a otras glucanasas descritas, que se induce específicamente en condiciones de micoparasitismo y de la que se derivan importantes aplicaciones industriales y agrícolas (Abbasi et al., 2016). *Trichoderma* spp, contribuye a solubilizar y absorber elementos nutritivos para la planta como: P, Fe, Mn, Cu, Ca, Zn y N (Vinale et al., 2013), otras especies de este hongo producen ácidos orgánicos (glucónico, fumárico, y cítrico) que pueden disminuir el pH del suelo y propiciar la solubilización de fosfatos, magnesio, hierro y manganeso, los cuales son vitales para el metabolismo vegetal (Sharma et al., 2017).

Dentro de las especies de *Trichoderma* más importantes como agentes de biocontrol hacia fitopatógenos se encuentran: *T. reesei*, *T. koningii*, *T. asperellum*, *T. viride*, *T. harzianum*, *T. aureoviride*, entre otros (Brito et al., 2020; Alfiky & Weisskopf, 2021). Produce fitohormonas que promueven crecimiento en plantas, (auxinas y giberilinas) promueven la remediación de diversos tóxicos orgánicos e inorgánicos del suelo como metales pesados (Nykiel-Szymanska et al., 2018). En cepas de *Trichoderma virens* se han encontrado sustancias como viridiol, antibiótico esteroide inhibidor de la PI3-cinasa (fosfoinositol 3-cinasas) que presenta propiedades antifúngicas y fitotóxicas (Jaklisch et al., 2006), se ha reportado que *T. atroviride*, promueve el crecimiento de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) (Graven et al., 2007).

Existe una evidente influencia de la temperatura en *T. afroharzianum* y *T. atroviride* para promover propiedades que coadyuvan a mejorar las barreras contra los insectos en plantas (Di Lelio, 2021). La aplicación de esporas de *T. harzianum* en frutos de algunas plantas, disminuye la severidad de enfermedades de forma significativa, se ha encontrado que a mayor concentración de esporas los efectos son mayores (ElKatatny et al., 2021). *Trichoderma* spp. ha sido usada como tratamiento en la semilla, raíz y suelo para reducir la severidad de enfermedades. Los avances en investigaciones sobre mutación genética han reportado que las mutantes obtenidas de *Trichoderma*, demuestran una pronunciada actividad de biocontrol contra fitopatógenos transmitidos por el suelo (Abassi, 2016). Varios estudios han demostrado que inóculos simples, pueden ser efectivos agentes de control biológico (ACB), investigaciones recientes muestran que el uso de asociaciones de dos o más microorganismos puede producir efectos aditivos o sinérgicos (Azeem et al., 2021). Dicho comportamiento se ha observado especialmente en microorganismos aplicados en la rizosfera, cuyos efectos benéficos sobre las plantas se pueden explicar por una mejora en la disponibilidad de nutrientes, la modulación por fitohormonas, el biocontrol o la tolerancia a estrés biótico y abiótico. Aglutinación de especies de *Trichoderma* y rizobacterias que promueven el crecimiento de las plantas (PGPR por sus siglas en Inglés) y de hongos micorrícicos con PGPR han demostrado ser eficaces en el control de enfermedades en las plantas (Santoyo et al., 2021).

Tabla 1. Mecanismos de solubilización reportados por diferentes autores para *Trichoderma* en fuentes de P empleada

Especie	Fuente de fosforo	Mecanismo de solubilización
<i>T. reesei</i> (Bader, 2020)	FePO ₄ AlPO ₄ Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)	Producción de ácidos orgánicos, producción de enzimas fosfatásicas acción de quitina y otros metabolitos
<i>T. pinnatum</i> (Chagas, 2016)	FePO ₄ AlPO ₄ Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)	Producción de ácidos orgánicos, producción de enzimas fosfatásicas, secreción de metabolitos quelantes, producción de sideróforos.
<i>T. asperellum</i> (Chagas 2016)	FePO ₄ AlPO ₄ Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)	Producción ácidos orgánicos, producción de enzimas fosfatásicas, transportadores de fosfato, interacciones con otros microorganismos.
<i>T. viride</i> (Chagas 2016)	FePO ₄ AlPO ₄ Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)	Producción ácidos orgánicos, Producción de enzimas fosfatásicas, transportadores de fosfato, interacciones simbióticas.
<i>T. harzianum</i> (Bader 2020; Chagas 2016)	Ca ₃ (PO ₄) ₂ Hirapur RP FePO ₄ AlPO ₄ Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)	Producción ácidos orgánicos, Producción de enzimas fosfatásicas, transportadores de fosfato, interacciones simbióticas.
<i>T. longibrachiatum</i> (Chagas 2016)	FePO ₄ AlPO ₄ Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH)	Producción ácidos orgánicos, Producción de enzimas fosfatásicas, transportadores de fosfato, interacciones simbióticas.

Varios estudios sugieren que la fotomorfogénesis depende del estado metabólico de las hifas en crecimiento, composición del medio de cultivo y de la especie de *Trichoderma* empleada (Steyaert *et al.*, 2010). El fosfato, como nutriente esencial podría tener un impacto sobre la fotoconidiación de estas especies de hongos. Sin embargo, se ha observado que *Trichoderma* spp., no supera valores de solubilización de P mayores al 20%, la limitación del ión fosfato resulta un factor de estrés desencadenante del programa de conidiación en *T. atroviride*. Es posible que el déficit de este ión se traduzca en un cambio en el estado redox intracelular como se ha sugerido para otros nutrientes esenciales (Friedl *et al.*, 2008), la respuesta de este estímulo no parece estar ligada a la actividad de las proteínas BLR, previamente asociadas con la fotoconidiación, sin embargo, la vía que señala el deficit de P podría interactuar con aquella asociada a la percepción de luz en algún otro elemento que permita amplificar la señal y desencadenar la producción de conidias en *T. atroviride* (Osorio *et al.*, 2013), *Trichoderma* spp,

presenta además de su capacidad de solubilización de P, otras características como promotor de crecimiento como la síntesis de ácido indolacético (IAA) (Bader,, 2020).

Trichoderma presenta la capacidad de secretar variedad de ácidos orgánicos, como ácido cítrico, ácido óxalico y ácido málico, dichas sustancias tienen la capacidad de quelatar el fósforo insoluble del suelo, lo que facilita su solubilización que es asimilable por plantas. Las enzimas producidas por *Trichoderma* como la fosfatasa ácida y alcalina, coadyuban en la liberación del fósforo de los compuestos orgánicos e inorgánicos del suelo, lo que facilita la liberación y absorción por parte de las plantas.

Trichoderma spp. y su interacción con elicitores

El uso de elicitores, ayuda a consolidar una agricultura más sostenible y sin efectos adversos a la salud del consumidor, los elicitores pueden estimular compuestos estructurales que interactúan con el metabolismo propio de las plantas, con la finalidad de producir compuestos que derivaran en rasgos agronómicos deseados, como: metabolitos secundarios de uso nutracéutico o moléculas señalizadoras. *Trichoderma harzianum* presenta interacciones beneficiosas con las plantas, induce resistencia sistémica a patógenos y libera compuestos que promueven el crecimiento de las plantas y el desarrollo de las raíces (Cai et al., 2015).

La colonización de plantas por dicho hongo modula hormonas vegetales endógenas y enzimas antioxidantes, solutos compatibles, fitoalexinas y compuestos fenólicos (Carvalhois et al., 2015). Se ha documentado que *T. harzianum* modifica la arquitectura de la raíz, y una mayor producción de raíces laterales, lo que permite un mejor aprovechamiento de agua y nutrientes, así como, la activación de vías de defensa por parte de la planta (Samolski et al., 2012; Halifu et al., 2019). Las plantas tienen la capacidad de percibir la presencia de microorganismos a través de varias vías que tienen que ver con la interacción planta-microorganismo, entre ellas están las proteínas efectoras, metabolitos secundarios y ARN pequeños (Ortiz-Castro et al., 2009; Ramírez-Valdespino et al., 2019). En la interacción planta-*T. harzianum*, una de las vías de reconocimiento son las moléculas efectoras producidas por el agente de biocontrol como son la proteína Sm1 que induce la expresión de los genes relacionados con la defensa, la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la biosíntesis de compuestos fenólicos (Salas-Marina et al., 2015). Las celulasas Thph1 y Thph2 inducen genes relacionados con la defensa de las plantas activando la producción de ROS al ser aplicadas vía foliar (Saravanakumar et al., 2016). ThPG1 participa en la colonización de las raíces de las plantas por parte de *Trichoderma*. Uno de los grupos de proteínas más extensos con actividad enzimática producidos por *Trichoderma* son las glicosil hidrolasas a las cuales pertenece la xilanasa (Gutiérrez-Rojas et al., 2015). La proteína Eix desencadena la biosíntesis de la proteína ET y la respuesta hipersensible en la planta, activa la hidrofobina HBF2-6 que participa en la colonización de las raíces y la inducción de las vías ácido jasmónico y ácido salicílico, además de tener

una regulación positiva de los genes relacionados con la señalización de auxinas (Ramírez-Valdespino et al., 2019).

Las proteínas secretadas por *Trichoderma* juegan un papel crucial en el establecimiento de contacto con las raíces, la penetración a estas y la activación de la respuesta de la planta. En la interacción de *Trichoderma* con las raíces de plantas, se ha demostrado que la sacarosa presente en los exudados de las raíces es importante en la atracción del hongo. La unión a las raíces está mediada por proteínas similares a la hidrofobina y las swolleninas secretadas junto con las enzimas que degradan la pared celular de las plantas, facilitando la internalización de las hifas fúngicas (Mendoza-Mendoza et al., 2018). Las señales del hongo patógeno activan la vía de señalización en *Trichoderma* a través de proteínas G heterotriméricas y proteínas cinasas (MAPK) activando la producción de enzimas hidrolíticas, metabolitos antifúngicos y la formación de estructuras de infección. También se ha encontrado al AMPc como parte de la vía de señalización involucrada en el enrollamiento asociado al micoparasitismo y la producción de quitinasa, así como al metabolismo secundario (Zeilinger & Omann, 2007). La defensa de las plantas al ataque tanto de hongos fitopatógenos como de plagas, está influenciada por un gran número de inductores que le permite tolerar el estrés tanto biótico como abiótico. Los reguladores del crecimiento como el ácido salicílico, el ácido jasmónico y el metiljasmonato son moléculas muy importantes en el desarrollo de las plantas y en la inducción de defensa de las plantas a diversos tipos de estrés, además de inducir la expresión de enzimas que catalizan la generación de varios compuestos de defensa como polifenoles, alcaloides y proteínas (Singh & Gautam, 2013). Una alternativa actualmente en boga para el manejo de enfermedades de plantas es la inducción de la resistencia sistémica de la planta a través de la aplicación de agentes bióticos y abióticos, ya sea, vía foliar o la aplicación en el suelo. Se ha documentado que la interacción de agentes de biocontrol con inductores químicos tiene una mejor respuesta en la protección de las plantas contra patógenos o condiciones desfavorables del medio ambiente (Zehra et al., 2017).

Trichoderma spp. bioinsumo agrícola e industrial.

El uso de *Trichoderma* spp. como inoculante biológico en semillas y suelo promueven el crecimiento vegetal, favorecen el aprovechamiento de los nutrientes en asociación con la planta y su rizosfera (Howell, 2003). *Trichoderma* spp. además de aumentar la biodisponibilidad de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas como el fósforo (Cañada-Coyote, 2021), mediante mecanismos quelantes y reductores, facilita que los minerales sean asimilados con mayor eficiencia por las plantas inoculadas con *Trichoderma* (Alatorre et al., 1999). Coadyuva en la velocidad de los procesos fisiológicos que influyen sobre la absorción de nutrientes, lo que se traduce en un aumento en el rendimiento de los cultivos (Kumar et al., 2010).

Trichoderma reesei, ha sido usada en fermentaciones sólidas para la producción de celulosas y algunas otras enzimas hidrolíticas de alto valor añadido en la industria alimentaria, papelera y textil, como es el

caso de las celulasas, las cuales son de interés debido a su aplicación en la obtención de bioetanol (Centeno-Rumbos, 2015). Algunos antibióticos y otros metabolitos secundarios generados por *Trichoderma* son de interés alimentario (como saborizantes), son buenos productores celulares para la expresión de proteínas heterólogas de interés farmacéutico e industrial (Naemi et al., 2020).

Debido a su gran diversidad metabólica, *Trichoderma* es capaz de degradar compuestos altamente recalcitrantes, como polifenoles o algunos insecticidas (Kartal, 2004). Los metabolitos secundarios no son esenciales para el establecimiento y crecimiento de *Trichoderma*; sin embargo, juegan un papel muy importante en la detección, señalización y ataque de los microorganismos del entorno (Macheleidt et al., 2016). Algunas cepas de *Trichoderma* producen metabolitos volátiles que le permiten controlar a los hongos fitopatógenos sin estar en contacto directo con ellos, como el ácido harziánico, el 6-pentil pirona, los pentabioles y la viridina entre otros, por lo que estas cepas son consideradas excelentes agentes de biocontrol (Li et al., 2018; Manganiello et al., 2008). El hongo endófito produce factores de virulencia, como exoenzimas y metabolitos fitotóxicos, mientras que la planta produce defensas, tanto mecánicas como bioquímicas. Las plantas inoculadas con *Trichoderma* exhiben un marchitamiento retardado, mayor conductancia estomática, mayor contenido de clorofila en las hojas y mayores niveles netos de fotosíntesis en condiciones de estrés por déficit de agua (Bae et al., 2009), a través de un aumento en el crecimiento de la raíz, mejorando la eficiencia fotosintética, la absorción de nutrientes y protegiendo a la planta del daño oxidativo y eliminando de manera más eficiente las especies reactivas de oxígeno (Guler et al., 2016; Poosapati et al., 2014). Los aislamientos de *Trichoderma* spp. confieren tolerancia al estrés por sequía mediante la promoción del crecimiento de raíces secundarias que confieren una penetración más profunda de las raíces en el perfil del suelo (Contreras-Cornejo et al., 2009; Pandey et al., 2016).

La inoculación de semillas de arroz con aislados de *T. harzianum* promueve la tolerancia alivia los efectos del estrés salino en dichas plantas (Rawat & Tewari, 2011). Se reporta que plantas de calabaza tratadas con *T. harzianum* fueron más tolerantes a la salinidad en comparación con las plantas control (Ahmad et al., 2015). Se ha demostrado una mayor tolerancia al estrés climático en plantas inducida por *Trichoderma* (Mastouri et al., 2010; Redman et al., 2011; Ghorbanpoura et al., 2018).

***Trichoderma* alternativa a los fungicidas químicos**

Desde la revolución industrial los agroquímicos han sido usados por su efectividad para la prevención de parásitos como *Fusarium wilt*, sin embargo, hay evidencia de resistencia por parte de especies patógenas que atacan a los cultivos comerciales, Los agroquímicos afectan negativamente las funciones microbianas del suelo y sus procesos bioquímicos (Jamil, 2021). La alteración en la diversidad y composición microbiana beneficiosa puede ser desfavorable para los suelos (Meena et al., 2020), lo que ocasiona la disminución en el rendimiento de los sistemas de producción agrícola, y el aumento de enfermedades causadas por patógenos, lo que resulta en merma de los cultivos y pérdidas económicas

para los agricultores (Rolleri, 2021). Otros de los factores que afectan a los cultivos son: el alto costo de insumos, la falta de capacitación y asistencia técnica, el desplazamiento de especies nativas, la disminución de la calidad y el estado físico- químico y biótico de los suelos, lo que afecta la fertilidad de los mismos (Brooke, 2018). Los insecticidas químicos utilizados para el control de plagas y enfermedades en la producción agrícola han generado resistencia, contaminación del medio ambiente y daños a la salud debido a su producción y aplicación (Harman et al., 2004). Especies de *Trichoderma* son efectivas en el biocontrol de hongos fitopatógenos en los cultivos con importancia económica (Zin, 2020). *Trichoderma* se ha usado principalmente para el control de *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium* y *Fusarium* entre otros (Mallikharjuna et al., 2016).

Otra propiedad importante de *Trichoderma* es su capacidad de absorber nitrógeno, reduciendo la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por nitratos, que es una consecuencia adversa del cultivo del maíz a gran escala, además de disminuir los costos de producción (Zafra et al., 2015; Vázquez et al., 2015).

El bioinsumo *Trichoderma* puede ser compatible con clorpirifos, tiabendazol y oxicarboxin, el uso combinado de agroquímicos y bioinsumos en cultivo como el frijol es factible, siempre y cuando el momento de aplicación del último sea acorde a la vida media del químico y se incremente el contenido de materia orgánica del suelo (Aslenis Melo, 2015). A nivel comercial el 60 % de las formulaciones utilizadas para el control de hongos fitopatógenos se basa en *Trichoderma* (Verma et al., 2007). Estos hongos soportan condiciones de estrés durante su uso (Leng et al., 2011). Sin embargo, a nivel industrial, aún se refinan técnicas que mantengan la viabilidad y eficiencia de los conidios lo que se traduzca en una vida prolongada en anaquel.

Biotecnología de la vida de anaquel de Trichoderma

El manejo de sustratos, así como de parámetros físicos y químicos inducen la capacidad de tolerancia de las esporas de *Trichoderma* spp. a bajos porcentajes de humedad, lo que aumenta la concentración de polioles y carbohidratos del grupo de los disacáridos como: la trehalosa (Gancedo & Flores, 2004). Dicho compuesto orgánico es un protector que actúa en condiciones de estrés abiótico promoviendo en las plantas resistencia al estrés *in vivo* (Iturriaga et al., 2009).

La trehalosa es un disacárido no reductor formado por dos moléculas de glucosa que es sintetizado por bacterias, plantas, insectos y hongos e intervienen en la respuesta al estrés, actuando como osmoprotector de las proteínas y las membranas celulares durante la desnaturalización provocada por el estrés osmótico y temperaturas extremas. Los niveles de trehalosa presentes en la célula dependen de su etapa de crecimiento y nutrición (Suárez et al., 2015).

En los hongos, la función de la trehalosa es como carbohidrato de reserva, encontrándose en células, esporas y estructuras de reposo vegetativo donde puede constituir hasta el 15 % del peso seco,

además de ser un metabolito antiestrés (Al Bader et al., 2010). También la trehalosa es una importante fuente de energía en el desarrollo de los hongos, ya que se utiliza en los procesos celulares como las glucólisis, la esporulación, y la germinación. En la levadura del pan (*Saccharomyces cerevisiae*) se encontró una vía de producción de trehalosa en la que interviene dos enzimas la trehalosa-fosfato-sintasa (TPS) que produce trehalosa-6-fosfato (T6P) a partir de glucosa-6-fosfato y UDP-glucosa; y la trehalosa-fosfato-fosfatasa (TPP) que genera trehalosa al desfosforilar a la T6P (Gancedo y Flores, 2004). Esta ruta es conocida como TPS/TPP, aunque no es la única, ya que en bacterias existen cinco vías diferentes para la obtención de la trehalosa, entre ellas la vía TreY/TreZ donde interviene la malo-oligosil-trehalosa sintasa y la maltooligosil-trehalosa hidrolasa, pero en hongos solo existe la vía TPS/TPP (Avonce et al., 2006). La enzima citosólica es llamada trehalasa neutra por su pH óptimo de 7, mientras que el pH óptimo de la proteína vacuolar es de 4.5, por lo que, fue denominada trehalasa ácida (Leng et al., 2011). Las propiedades que muestra la trehalosa la han convertido en un importante producto biotecnológico, con múltiples aplicaciones por lo que ofrece una nueva estrategia para mejorar la termotolerancia de conidios a través de herramientas para la transformación de microorganismos. Actualmente se continúa la investigación sobre los distintos medios de conservación de conidios de *Trichoderma harzianum* y su eficacia de su uso en diversos sustratos y ambientes.

CONCLUSIONES.

En base a la revisión documental se concluye que especies del género *Trichoderma* presentan ventajas tanto en su producción, como en su uso ya que su fisiología le confiere tener capacidades únicas que le hacen ser un excelente biocontrolador, bioestimulante y biorremediador, lo cual lo posiciona como un grupo de hongos filamentosos de uso en la restauración de suelos y en la producción de especies vegetales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo al Tecnológico Nacional de México/IT de Roque (TecNM-Roque) y al Sistema Nacional de Posgrados de CONAHCYT por la beca otorgada a G.I. Rodríguez-Muñoz para estudios de posgrado.

BIBLIOGRAFÍA

Abbasi, S., Safaie, N., Shams-Bakhsh, M., & Shahbazi, S. (2016). Biocontrol activities of gamma induced mutants of *Trichoderma harzianum* against some soilborne fungal pathogens and their DNA fingerprinting. *Iran Journal of Biotechnology*, 14, e1224.

- Agamez-Ramos, E., Zapata-Navarro, R., Oviedo-Zumaque, L., & Barrera-Violeth, J. (2008). Evaluación de sustratos y procesos de fermentación sólida para la producción de esporas de *Trichoderma* sp. rev. Colomb. Biotecnol., 10(2), 23-24
- Ahmad, P., Hashem, A., Abd-Allah, E., Alqarawi, A., Difuza, J., Egamberdieva, D., & Gucl, S. (2015). Role of *Trichoderma harzianum* in mitigating NaCl stress in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) through antioxidative defensesystem. Front. Plant Sci., 6, 868.
- Al-Ani, L. K. T. (2018). *Trichoderma* from extreme environments: Physiology, diversity, and antagonistic activity. In Extremophiles in Eurasian Ecosystems: Ecology, Diversity, and Applications, 8, 389-403.
- Alatorre, C., Bjorkman, T., & Harman, G. (1999). Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai. Environ. Microbiol., 65, 2926-2933.
- Alfiky, A., & Weisskopf, L. (2021). Deciphering *Trichoderma*-plant-pathogen interactions for better development of biocontrol applications. Journal of Fungi, 7(1).
- Arrona-Rivera, A. E., Enríquez, P. L., García-Feria, L. M., Alvarado-Orellana, S., & Rendón von Osten, J. (2016). Organochlorine pesticides in the ferruginous pygmy owl (*Glaucidium brasilianum*) in Chiapas, México. Bull. Environ. Contam. Tox., 97(3), 337-345.
- Aslenis-Melo, R., Ariza, P., Lissbrant, S., & Adriana Tofiño, A. (2015). Evaluation of agrochemicals and bioinputs for sustainable bean management on the Caribbean coast of Colombia. Agron. Colomb., 33(2).
- Avonce, N., Mendoza-Vargas, A., Morett, E., & Iturriaga, G. (2006). Insights on the evolution of trehalose biosynthesis. BMC Evol. Biol. 6, 109.
- Ayala, A. (2008). Producción masiva de *Trichoderma harzianum* Rifai en diferentes sustratos orgánicos. Rev. Chapingo Serie Horticult, 14, 185-191.
- Azeem, S., Agha, S. I., Jamil, N., Tabassum, B., Ahmed, S., Raheem, A., & Jahan, N. (2022). Characterization and survival of broad-spectrum biocontrol agents against phytopathogenic fungi. Rev Argen Microbiol., 54, 233--42,
- Bader, A., Salerno, G., Covacevich, F., et al. (2020). Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3 acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of King Saud University-Science, 32(1), 867-873.
- Bae, H., Sicher, R., Kim, M., Kim, S., Rachel. M., Melnick, L., & Bailey. B. (2009). The beneficial endophyte *Trichoderma hamatum* isolate DIS 219b promotes growth and delays the onset of the drought response in *Theobroma cacao*. Journal of Experimental Botany, 60(P), 3279–3295.
- Benítez, T., Rincón, A. M., Limón, M. C., & Codón, A. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. Internat. Microbiol., 7, 249-260.

- Berrocal-Tito, G. M., Rosales-Saavedra, T., Herrera-Estrella, A., & Horwitz, B. (2000). Characterization of blue-light and developmental regulation of the photolyase gene *phr-1* in *Trichoderma harzianum*. *Photochem. Photobiol.*, 71, 662–668.
- Betina, V. (1995). Photoinduced conidiation in *Trichoderma viride*. *Folia Microbiologica*, 40(3), 219-224.
- Borges-Chagas, L. F., Chagas Junior, A. F., Ribeiro Fidelis R., Rodrigues de Carvalho Filho, M., & de Oliveira Miller, L. (2017). *Trichoderma asperellum* efficiency in soybean yield components. *Comun. Sci.*, 8, 165-169.
- Brito, R. A. S., Cavalcante, G. P., Stock, V. M., Colman, A. A., dos Santos, D. P., Sermarini, R. A., & Maffia, L. A. (2020). *Trichoderma* species show biocontrol potential against *Ceratocystis* wilt in mango plants. *European Journal of Plant Pathology*, 158(3), 781-788.
- Brooke, Picket, M., & Aronson E. (2018). Impacts of Invasive Plants on Soil Fungi and Implications for Restoration. *Diversity and Ecology of invasive plants*.
- Cai, F., Chen, W., Wei, Z., Pang, G., Li, R., Ran, W., & Shen, Q. (2015). Colonization of *Trichoderma harzianum* strain SQR-T037 on tomato roots and its relationship to plant growth, nutrient availability, and soil microflora. *Plant Soil*, 388, 337-350.
- Cañada-Coyote, E., Ramírez-Pimentel J, G., Aguirre-Mancilla, C.L., Raya-Pérez, J.C., Acosta-García, G., & Iturriaga, G. (2021). *Trichoderma harzianum* mutants enhance antagonism against phytopathogenic fungi, phosphorus assimilation and drought tolerance in Jalapeño pepper plants. *Chilean Journal of Agricultural Research.*, 81, 270-280.
- Casas-Flores, S., Rios-Momberg, M., Bibbins, M., Ponce-Noyola, P., & HerreraEstrella, A. (2004). BLR-1 and BLR-2, key regulatory elements of photoconidiation and mycelial in *Trichoderma atroviride*. *Microbiology.*, 150, 3561-3569.
- Casas-Flores, S., Rios-Momberg, M., Rosales-Saavedra, T., MartínezHernandez, P., Olmedo-Monfil, V., & Herrera-Estrella A. (2006). Cross talk between a fungal blue-light perception system and the cyclic AMP signaling pathway. *Eukaryot. Cell.*, 5, 499-506.
- Centeno-Rumbos, R., & Pavone-Maniscalco D. (2015). Producción de celulasas y biomasa del hongo *Trichoderma reesei* utilizando lodo papelerero como fuente de carbono. *Rev. Soc. Ven. Microbiol.*, 35(1).
- Chagas, B., et al. (2016). Efficiency of *Trichoderma* spp. as a growth promoter of cowpea (*Vigna unguiculata*) and analysis of phosphate solubilization and indole acetic acid synthesis. *Braz. J. Bot.*, 39, 437–445.
- CONAGUA, 2024. Monitor de sequía en México. Servicio Meteorológico Nacional.
- Contreras-Cornejo, H., Macías-Rodríguez, L., Alfaro-Cuevas, R., & López-Bucio, J. (2014). *Trichoderma* spp. improve growth of *Arabidopsis* seedlings under salt stress through enhanced root development, osmolite production, and Na⁺ elimination through root exudates. *Mol. Plant Microbe Interact.*, 27, 503-514.

- Di Lelio, I., Coppola, M., Comite, E., Molisso, D., Lorito, M., Lois Woo, S., Pennacchio, F., Rao, R., & Digilio, M. (2021). Temperature differentially influences the capacity of *Trichoderma* species in tomato against insect pests. *Frontiers in plant science*, 12, 1-15.
- Dieleman, H. (2016). Urban agriculture in México City; Balancing between ecological, economic, social and symbolic value. *Journal of Cleaner Production*, 163, S156-S163.
- Domsch, K., Anderson, W., & Yersoon, I. (1980). Compendium of soil fungi. Revision of the genus *Trichoderma*. Academic Press, London, 136, 794-810.
- Druzhinina Irina, S., Kopchinskiy, A., & Kubicek- Chistian., P. (2006). The first 100 *Trichoderma* species characterized by molecular data. *Mycoscience*, 47(2), 55–64
- Eaton, D. L., & Gilbert, S.G. (2013). Principles of toxicology. En: Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons. (C.D. Klaassen, 8th Ed.). McGraw-Hill Education, pp. 13-48
- Elkhateeb, W., Elnahas, M., Daba, G., & Zohri, A. (2021). Biotechnology and Environmental applications of *Trichoderma* spp. *Reserch Journal of Phamacognosy and Phytochemistry*, 13, 101-109.
- FAO. (2014). Growing Greener Cities in Latin America and the Caribbean. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Santiago, Chile.
- Fonseca, L. (1998). Estudio preliminar sobre la dinámica poblacional del biocontrolador *Trichoderma* spp. en el suelo. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.
- Friedl, M. A., Kubicek, C.P., & Druzhinina, I. S. (2008). Carbon source dependence and photostimulation of conidiation in *Hypocrea atroviridis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 74, 245-250.
- Gancedo, C., & Flores, C. (2004). The importance of a functional trehalose biosynthetic pathway for the life of yeasts and fungi. *FEMS Yeast Res.*, 4, 351–359.
- García-Núñez, H. Martínez-Campos, Hermosa-Prieto, M., Monte-Vázquez, E., Aguilar-Ortigoza, C., & González-Esquível, C. (2007). Caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de *Trichoderma* y su potencial de biocontrol sobre *Phytophthora infestans*. *Rev. Mex. Fitopatol*, 35(1), 63.
- Ghorbanpoura, A., Salimi, A., Tajick-Ghanbaryb, M., Pirdashti, H., & Dehestanid, A. (2018). The effect of *Trichoderma barzianum* in mitigating low temperature stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Sci. Horticult.*, 230, 134-141.
- Gonçalves, Í., Souza, T., & Vieira, L. (2020). Toxicity testing of pesticides in zebrafish—a systematic review on chemicals and associated toxicological endpoints. *Environ Sci Pollut Res*, 27, 10185–10204.
- Gravel V., Antoun H., & Tweddell R.J. (2007). Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil. Biol. Biochem.*, 39, 1968–1977.

- Guigón-López, C., & González-González, P. (2003). Selección de cepas nativas de *Trichoderma* spp. con actividad antagonista sobre *Phytophthora capsici* Leonian y promotoras de crecimiento en el cultivo del chile (*Capsicum annuum* L.). Rev. Mex. Fitopatol., 22, 117-123.
- Guler, N., Pehlivan, N., Karaoglu, S., Guzel, S., & Bozdeveci, A. (2016). *Trichoderma atroviride* ID20G inoculation ameliorates drought stress-induced damages by improving antioxidant defence in maize seedlings. Acta Physiol. Plant, 38, 132.
- Harman G. E. (2000). Myths and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. Plant Dis., 84, 377–393.
- Harman, G. (2004). *Trichoderma* species opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature reviews microbiology, 2, 43–56.
- Hernández-Melchor, D., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). *Trichoderma*: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial.
- Hinsiger, P., Plassard. C., Tang, C., & Jaillard, B. (2003). Origins of root-mediated pH changes in rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. Plant Soil, 248, 43-59.
- Iturriaga, G., Suárez, R., & Nova-Franco, B. (2009). Trehalose metabolism: from osmoprotection to signaling. Int. J. Mol. Sci., 10, 3793-3810.
- Jaklitsch, W. M., & Voglmayr, H. (2015). Biodiversity of *Trichoderma* (Hypocreaceae) in Southern Europe and Macaronesia. Studies in Mycology, 80, 1-87.
- Kartal S. N., Munir E., Kakitani T., & Imamura Y. (2004). Bioremediation of CCA-treated wood by brown-rot fungi *Fomitopsis palustris*, *Caniophora puteana* and *Laetiporus sulphureus*. J. Wood Sci., 50, 182–188.
- Karthikeyan, B. C., Jaleel, A., Lakshmanan, G. A., & Deiveekasundaram, M. (2008). Studies on rhizosphere microbial diversity of some commercially important medicinal plants. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 62(1), 143-45.
- Kim, K., Heo, Y. M., Jang, S., Lee, H., Kwon, S. L., Park, M. S., Lim, Y. W., & Kim, J. J. (2020). Diversity of *Trichoderma* spp. in marine environments and their biological potential for sustainable industrial applications. Sustainability, 12, 4327
- Kullnig, C., Krupica, T., Woo, S., Mach, R., Rey, M., Benitez, T., Lorito, M., & Kubicek. C. P. (2001). Confusion abounds over identities of *Trichoderma* biocontrol isolates. Mycological Research., 10(5), 769-772.
- Kumar, A., et al. (2010). Overlapping and distinct functions of two *Trichoderma virens* MAP kinases in cell-wall integrity, antagonistic properties and repression of conidiation. Biochem. Biophys. Res. Commun., 398, 765–70
- Kumar, A., Shukla, A., Kumar, J., & Tuteja, N. (2016). Dose-dependent response of *Trichoderma harzianum* in improving drought tolerance in rice genotypes. Planta, 243, 1251-1264.

- Leng, Y., Peng, G., Cao, Y., & Xia, Y. (2011). Genetically altering the expression of neutral trehalase gene affects conidiospore thermotolerance of the entomopathogenic fungus *Metarhizium acridum*. *BMC Microbiol.*, 11, 32.
- Lewis, J. A., & Papavizas, G. C. (1984). A new approach to stimulate population proliferation of *Trichoderma* species and other potential biocontrol fungi introduced into natural soils. *Phytopathology*, 74, 1240-1244.
- Liu Y, Pan X, & Li J. A. (2015). 1961-2010 record of fertilizer use, pesticide application and cereal yields: a review. *Agron Sustain Dev*, 35(1), 83-93.
- Lorito, M., & Sheridan, L. (2018). Modulation of tomato response to *Rhizoctonia solani* by *Trichoderma harzianum* and its secondary metabolite harzianic Acid. *Front. Microbiol.* 9.
- Macheleidt J., Mattern, D., Fischer, J., Netzker, T., Weber, J., Schroeckh, V., Valiante, V., & Brakhage, A. (2016). Regulation and role of fungal secondary metabolites. *Annu. Rev. Genet.*, 23, 371-392.
- Mallikharjuna, R., Siva-Raju, K., & Ravisankar, H. (2016). Cultural conditions on the production of extracellular enzymes by *Trichoderma* isolates from tobacco rhizosphere. *Braz. J. Microbiol.*, 47, 25–32.
- Manganiello, G., Sacco, A., Ercolano, M., Vinale, F., Lanzuise, S., Pascale, M., Lombardi, N., Lorito, M., & L. Woo, S. (2013). Modulation of Tomato response to *Rhizoctonia solani* by *Trichoderma harzianum* and its secondary metabolite harzianic acid. *FEMS microbiol Lett*, 347(2), 123-9.
- Mastouri, F., Björkman, T., & Harman, G. (2010). Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. *Phytopathol.*, 100, 1213-1221.
- Mendoza, A. (2017). Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. Affects Indole Acetic Acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. *Front. Plant Sci.*, 8.
- Naeimi, S, Khosravi, V, Varga, A, Vágvölgyi, C., & Kredics, L. (2020). Screening of organic substrates for solid-state fermentation, viability and bioefficacy of *Trichoderma harzianum* AS12-2, a biocontrol strain against rice sheath blight disease. *Agronomy*, 10(9), 1258.
- Nieto-Jacobo, M., Steyaert, J., Salazar-Badillo, F., ViNguyen, D., Rostas, M., Braithwaite, M., De Souza, J., Jimenez-Bremont J. Ohkura, M., & Stewart, A. (2017). Environmental Growth Conditions of *Trichoderma* spp. Affects Indole Acetic Acid Derivatives, Volatile Organic Compounds, and Plant Growth Promotion. *Front plant Sci.*, 9(8), 102
- Nuangmek, W., Aiduang, W., Kumla, J, Lum.ong, S., & Suwannarach, N. (2021). Evaluation of a newly identified endophytic fungus, *Trichoderma phayaoense* for plant growth promotion and biological control of gummy stem blight and wilt of muskmelon. *Frontiers in Microbiology*, 12, 410.
- Nykiel-Szymańska, J., Bernat, P., & Slaba, M. (2018). Potential of *Trichoderma koningii* to eliminate alachlor in the presence of copper ions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 162(30), 1-9.

- Vega, O. F. L. (2001). Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. Manejo integrado de plagas (Costa Rica) 62, 96-100.
- Osorio-Concepción, M., Casas-Flores, S., & Cortés-Penagos, C. (2013). Efecto de la limitación de fosfato sobre la conidiación de *Trichoderma atroviride* y mutantes ciegas a la luz. *Revista mexicana de micología*, 37, 41-50
- Poosapati, S., Durga-Ravulapalli, P., Tippirishetty, N., Kumar-Vishwanathaswamy, D., & Chunduri, S. (2014). Selection of high temperature and salinity tolerant *Trichoderma* isolates with antagonistic activity against *Sclerotium rolfsii*. Springer Plus, 3, 641.
- Práválie, R. (2021). Exploring the multiple land degradation pathways across the planet. Earth Science Reviews., 220, 103689.
- Rawat, R., & Tewari, L. (2011). Effect of abiotic stress on phosphate solubilization by biocontrol fungus *Trichoderma* sp. Curr. Microbiol., 62, 1521-1526.
- Redman, R., Kim, Y., Woodward, C., Greer, C., Espino, L., Doty, S., & Rodriguez, R. (2011). Increased fitness of rice plants to abiotic stress via habitat adapted symbiosis: a strategy for mitigating impacts of climate change. Plos One, 6, e14823.
- Salazar, L. Sanabria, N., Aponte, G., Alcano, M., Herrera, R., Colmenares, D., Espinoza, M., Alemán, L., & Magaña, S. (2011). Efectividad de aislamientos de *Trichoderma spp.* en el control de la fusariosis del tomate en condiciones in Vitro e in Vivo. Bioagro, 23, 185-190.
- Samolski, I., Rincón, A., Pinzón, L., Viterbo, A., & Monte, E. (2012). The *qid74* gene from *Trichoderma harzianum* has a role in root architecture and plant biofertilization. Microbiol., 158, 129-138.
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., Santos-Villalobos, S. D. L., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Glick, B. R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. Agronomy, 11, 219
- Sharma, V., Salwan, R., & Sharma, P. N. (2017). The comparative mechanistic aspects of *Trichoderma* and probiotics: scope for future research. Physiological and Molecular Plant Pathology, 100, 84-96.
- Steyaert, J. M., Weld, R. J., Mendoza-Mendoza, A., & Stewart, A. (2010). Reproduction without sex: conidiation in the filamentous fungus *Trichoderma*. Microbiology, 156, 2887-900.
- Su, D., Ding, L., & He, S. (2018). Marine-derived *Trichoderma* species as a promising source of bioactive secondary metabolites. Mini-Rev. Medicinal Chemistry, 18(20), 1702-1713.
- Suárez-Rodríguez, R., Raya-Pérez, J. C., & Iturriaga de la Fuente, G. (2015). La trehalosa: Un azúcar osmoprotector con capacidad de señalización. Cienc. Tecnol. Agropecuaria Méx., 3, 1-13.
- Tabashnik et al., B. E., A. J. Gassmann, D. W. Crowder, & Y. Carriere. (2008). Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory. Nature Biotechnol., 26, 199-202.
- Torres-De la Cruz, M., Ortiz-García, C., Bautista-Muñoz, C., Ramírez-Pool, J. Ávalos-Contreras, N., Cappello-García, S., & De la Cruz-Pérez, A. (2015). Diversidad de *Trichoderma* en el agroecosistema cacao del estado de Tabasco, México. Rev. Mex. Biodiver., 86, 947-961.

- Trushina N., Levin M., Mukherjee P. K., & Horwitz B. A. (2013). PacC and pH-dependent transcriptome of the mycotrophic fungus *Trichoderma virens*. *BMC Genomics*, 14, 138.
- United Nations. (2020). The policy brief: The impact of COVIT 19 on food security and nutrition.
- Vargas, W. Mukherjee, P., Laughlin, D., Wiest, A., Moran-Diez, M., & Kenerley, C. (2014). Role of gliotoxin in the symbiotic and pathogenic interactions of *Trichoderma virens*. *Microbiol.*, 160, 2319–2330.
- Verma, M., Satinder, K., Brar, S., Tyagi, R., Surampalli, R., & Valéro, J. (2007). Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. *Biochem. Eng. J.*, 37, 1-20.
- Villalobos-López, M., Arroyo-Becerra, A., Quintero-Jiménez, A., & Iturriaga, G. (2022). Biotechnological Advances to Improve Abiotic Stress Tolerance in Crops. *Int. J. Mol. Sci.*, 23, 12053.
- Vinale F., Nigro, M., Sivasithamparam, K., Flematti, G., Ghisalberti, E., Ruocco, M., & Lorito, M. (2013). Harzianic acid: a novel siderophore from *Trichoderma harzianum*. *FEMS Microbiol.*, 347, 123-129.
- Vuppala, G., Krishna, R., & Murthy, K. (2015). Industrial Fermentation. *Research and Reviews: Journal of Microbiology and Biotechnology (RRJET)*, 4(1), 1-7.
- Zafra, G., Moreno-Montaño, A., Absalón, AE., & Cortés-Espinosa, D. (2015). Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil by a tolerant strain of *Trichoderma asperellum*. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22, 1034-1042.
- Zamioudis, C., & Pieterse, C. M. (2012). Modulation of host immunity by beneficial microbes. *Mol. PlantMicrobe Interact.*, 25, 139–50.
- Zeilinger, S., Gruber, S., Bansal, R., & Mukherjee, P. K. (2016). Secondary metabolism in - chemistry meets genomics. *Fungal Biology Reviews*, 30(2), 74-90
- Zhang, J., Zhang, Y., Zhong, Y., Qu, Y., & Wang, T. (2012). Ras GTPases modulate morphogenesis, sporulation and cellulase gene expression in the cellulolytic fungus *Trichoderma reesei*. *Plos one*, 7, e48786
- Zin, N.A., & Badaluddin, N.A. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65, 168–178.

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

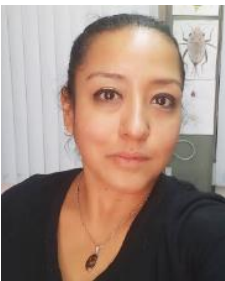
transgénicos, 139



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