

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

El papel de las bacterias quitinolíticas en interacciones planta-patógeno y su potencial empleo biotecnológico en la agricultura

Recibido en: 16/06/2024

Aprobado en: 20/06/2024

 10.46420/9786585756365cap6

Jesús Eduardo Cazares Álvarez¹ 

Ignacio Eduardo Maldonado Mendoza^{1*} 

RESUMEN

Dentro de la industria agrícola se han utilizado diversas herramientas de mejora para el crecimiento de plantas de importancia comercial. Sin embargo, algunas de estas herramientas involucran el uso de compuestos químicos sintéticos que por lo general son de alto costo, tienen efectos a largo plazo y además pueden ser perjudiciales para la salud. Generalmente, el empleo de fertilizantes químicos es una de las primeras opciones que utiliza el agricultor debido a la rápida aplicación y fácil acceso, pero cabe destacar que el uso indiscriminado de estos químicos puede traer consecuencias trascendentales en el microbiota del suelo. Debido a la alta demanda de cultivos para la alimentación humana, el uso de herramientas químicas ha ido en aumento y sobre todo para poder controlar organismos patógenos, por lo tanto, el empleo de alternativas sustentables se ha convertido en una meta a alcanzar para la comunidad científica. Una de estas opciones es el uso de organismos benéficos que sean capaces de tener un efecto en el crecimiento y desarrollo de la planta, además de poder controlar diversas enfermedades. Las bacterias quitinolíticas desempeñan un rol fundamental en el ciclo de carbono del suelo, además de que pueden interactuar directamente con las raíces de las plantas para beneficiarse mutuamente. Las quitinasas, producidas por las bacterias quitinolíticas, han demostrado poder controlar a diversos organismos fitopatógenos de manera directa (mediante nanotecnología) o indirecta (utilizando bioformulados de la bacteria), por lo que el uso de este tipo de bacterias en el ámbito agrícola se ha convertido en una alternativa ideal al uso indiscriminado de compuestos químicos.

¹ Departamento de Biotecnología Agrícola, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional, Guasave, Sinaloa, México.

* Autor(a) correspondiente: imaldona@ipn.mx

DISTRIBUCIÓN DE LA QUITINA EN LA NATURALEZA

La quitina, después de la celulosa, es uno de los principales polímeros presentes en la naturaleza. Este compuesto puede ser sintetizado por diversos organismos como camarones, cangrejos, insectos y hongos (Kumar, 2000). La quitina está compuesta por unidades de N-acetil-D-glucosamina unida por enlaces β -1,4 glucosídicos; tiene una coloración blanca, incolora y no es elástica. Además de estar ampliamente distribuida en la naturaleza, también puede encontrarse en formas diversas como α , β y γ , y esto depende muchas veces del organismo (Blackwell, 1988). La forma más común es la α -quitina y su estructura está conformada por dos unidades de N, N'-diacetilquitobiosa formando dos cadenas en una composición antiparalela, además los anillos hidrofóbicos de los carbohidratos se apilan uno encima del otro (Beckham & Crowley, 2011). Debido a su sencilla composición, esta forma de quitina puede encontrarse en la mayoría de los organismos quitinolíticos como, por ejemplo: cangrejos, langostas y en la pared celular de hongos (Hou et al., 2021).

Por otra parte, la β -quitina es una forma que no se encuentra de manera abundante en comparación con la α -quitina, sin embargo, la β -quitina contiene menos enlaces de hidrógeno adicionales entre las cadenas que unen a los grupos hidroximetilo y todas las cadenas en su estructura están en la misma dirección y son paralelas (Roy et al., 2017). Esta forma de quitina se ha encontrado en calamares (Arrouze et al., 2021; Lavall et al., 2007) y en capullos de insectos (Eisemann & Binnigton, 1994). Con respecto a la γ -quitina, esta tiene una estructura química similar a la α -quitina y se puede encontrar en las fibras del capullo del escarabajo *Ptinus* (Kaya et al., 2017), es un poco más difícil de encontrar y analizar, por lo que su uso es limitado.

USOS TECNOLÓGICOS DE LA QUITINA

Gracias al avance tecnológico y a las amplias posibilidades de poder aislar quitina de diversos organismos, los usos y aplicaciones de la quitina han ido aumentando con el paso de los años. Los principales organismos de los cuales se ha aislado quitina han sido insectos, crustáceos y camarones, utilizando diversos métodos de extracción como el uso de ácido clorhídrico, ácido acético y ácido nítrico, además del uso de enzimas líticas (Younes & Rinauro, 2015). Sin embargo, ha sido posible utilizar otras técnicas de extracción físicas como el uso de ondas ultrasónicas (Vallejo-Domínguez et al., 2021) con el fin de evitar el uso excesivo de químicos nocivos para el medio ambiente. La quitina, además de ser abundante en la naturaleza, es un compuesto no tóxico y biodegradable, por lo que su uso en diversas industrias es amplio. Por ejemplo, en la industria alimentaria, se ha considerado el uso de quitina aislado de organismos marinos como compuestos nutraceuticos (Šimat, 2021) o la utilización de quito-oligosacáridos derivados de la quitina como prebióticos en alimentos (Harti et al., 2015). Sin embargo, el uso de la quitina se extiende de manera amplia en la industria farmacéutica para la curación de heridas

superficiales (Mattioli-Belmonte et al., 2007), como acarreador de algunos medicamentos (Wang et al., 2011) e incluso en la generación de huesos (Kawata et al., 2016).

Por otra parte, en la industria agrícola, la quitina ha tenido un auge en los últimos años debido a su uso como fertilizante en forma de nanopartículas que pueden liberar compuestos útiles para las plantas, además que el uso de quitina o derivados podría ayudar a activar sistemas de defensa contra algunos patógenos (Shamshina et al., 2020). Esta activación lleva consigo la posibilidad de que la planta pueda producir enzimas que sean capaces de hidrolizar la quitina (quitinasas); los fragmentos de quitina liberados por las quitinasas pueden fungir como moléculas de señalización para la planta, lo que podría inducir mecanismos de crecimiento, defensa, síntesis de fitoalexinas e inducción de otras proteasas (Li et al., 2020).

QUITINASAS

Las enzimas que hidrolizan la quitina reciben el nombre de quitinasas (E.C.3.2.2.14) las cuales hidrolizan enlaces β -1,4 de la estructura de la quitina liberando compuestos de bajo o alto peso molecular. Pueden encontrarse en diversos organismos desde bacterias hasta en humanos y pueden ejercer diferentes funciones en la célula (Bhattacharyya & Jha, 2012). Se pueden clasificar en diferentes familias o clases dependiendo de su estructura aminoacídica o la presencia de dominios y motivos conservados (Oyeleye & Normi, 2018). Las quitinasas se encuentra agrupadas en familias pertenecientes a las glucosil-hidrolasas, siendo las familias 18, 19 y 20 las más abundantes (Figura 1).

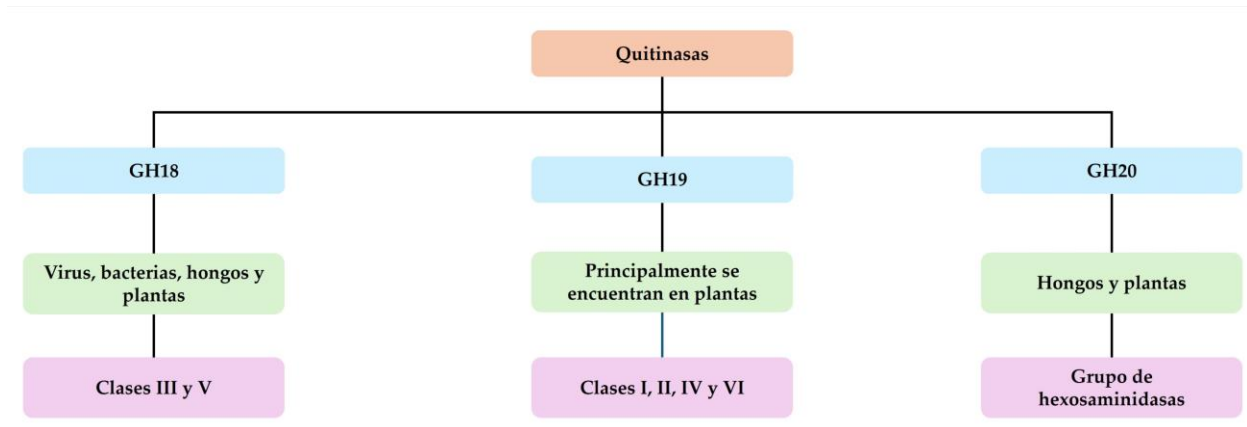


Figura 1. Clasificación de las familias más importantes de las quitinasas.

Así mismo, las quitinasas pueden dividirse dependiendo de su tipo de actividad en dos grupos: endoquitinasas y exoquitinasas. Las endoquitinasas son enzimas que pueden hidrolizar los enlaces β -1,4 de la estructura de la quitina de manera aleatoria en los sitios internos lo que ocasiona que se liberen compuestos de alto peso molecular como quitotriosa o quitotetrosa (Sahai & Manocha, 1993). En cambio, las exoquitinasas son enzimas que hidrolizan los enlaces externos de la cadena liberando monómeros de N-acetil glucosamina o quitobiosas.

En el caso particular de las plantas, las quitinasas pueden estar involucradas en todo el ciclo celular participando en procesos como desarrollo, embriogénesis, respuesta a diferentes tipos de estrés y en la respuesta contra patógenos (Vaghela et al., 2022) y se pueden encontrar en diferentes tejidos como hoja, tallo y raíces, y la mayoría de ellas presentan una actividad de endoquitinasa. El peso molecular de las quitinasas vegetales oscila entre los 20 a los 60 kDa y pueden tener una naturaleza ácida o básica dependiendo de su punto isoeléctrico (Hamid et al., 2013). Son diversos los estudios donde se han aislado quitinasas de plantas con el fin de poder caracterizarlas y utilizarlas para comprobar su efectividad en el control de hongos patógenos. Principalmente las quitinasas vegetales juegan un papel fundamental en el control de los hongos fitopatógenos mediante la hidrólisis de la quitina en la pared celular de hongos, lo que conlleva a la liberación de elicitores (quito-oligosacáridos) que sirven como moléculas de señalización para alertar a la planta de la infección (Zipfel, 2008). Las quitinasas vegetales pueden clasificarse principalmente en la familia 19 de las glicosil-hidrolasas, sin embargo, también pueden encontrarse enzimas pertenecientes a las familias 18 y 20. Dentro de la familia 18 se encuentran las clases III y V mientras que en la familia 19 se encuentran las clases I, II, IV y VI. La diferencia entre las clases difiere principalmente por la presencia de algunos dominios conservados y sitios ricos en cisteína (Vaghela et al., 2022).

BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL

Debido al aumento de las enfermedades causadas por virus u hongos patógenos en cultivos de importancia agrícola, el uso de organismos antagonistas se ha convertido en una herramienta alternativa al uso de compuestos químicos. Dentro de los organismos que se pueden utilizar en la industria agrícola son las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR). Estas bacterias por lo general son aisladas de la rizósfera de las plantas o de la superficie de las raíces (rizoplano) (Glick, 2012). Las PGPR están estrechamente relacionadas con las plantas en un ciclo constante de estimulación del crecimiento, obtención de nutrientes, fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y la producción de sideróforos (Souza et al., 2015). Así mismo, algunas bacterias pueden tener la capacidad de ser endófitas a las plantas, esto significa que pueden encontrarse dentro de las células vegetales en algún momento de su ciclo de vida, y tienen una influencia en la producción de compuestos bioactivos como esteroides, terpenoides, proteasas, flavonoides y liberación de compuestos antifúngicos y antibacterianos (Wang et al., 2022) (Figura 2). Los principales compuestos que pueden producir las PGPR son ácido indol-3 acético, enzimas líticas como proteasas, quitinasas o endoglucanasas, sideróforos y antibióticos, los cuales tienen una influencia directa o indirecta en el crecimiento de la planta. Sin embargo, las bacterias endófitas para poder ser utilizadas en cultivos de importancia agrícola, es necesario la utilización de sistemas de caracterización funcional para estas bacterias; por ejemplo, la comprobación de su posible patogenicidad al humano, producción de compuestos relacionados a la promoción del crecimiento vegetal, su efecto

contra fitopatógenos, su eficacia *in vitro*, invernadero y campo, y la verificación del endofitismo (Basit et al., 2021).

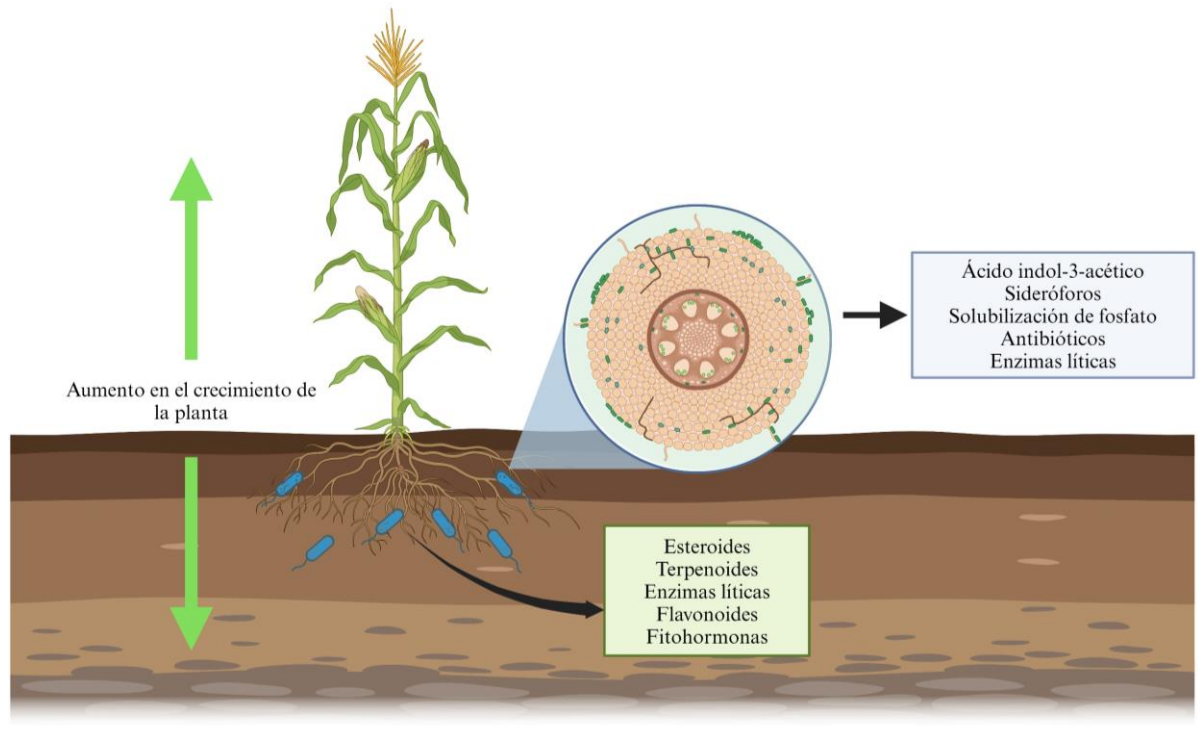


Figura 2. Beneficios de las PGPR en la planta y los compuestos que produce. Los organismos se encuentran en la rizosfera o en las raíces de las plantas las cuales tienen un efecto directo o indirecto en el crecimiento del cultivo. Pueden ser aislados del suelo o de las raíces de las plantas para comprobar su función como promotoras de crecimiento vegetal. Figura creada con Biorender.com

MICROORGANISMOS QUITINOLÍTICOS

Uno de los principales mecanismos de las PGPR es la producción de quitinasas. Estas enzimas juegan un papel fundamental en el control de hongos fitopatógenos en algunos cultivos agrícolas. Han sido amplios los estudios de aislamiento y caracterización de organismos aislados de la rizósfera de plantas, por ejemplo, Brzezinska et al. (2020) aislaron bacterias de la rizósfera del trigo (*Triticum aestivum* L.) donde dos cepas, B3 y B5, identificadas como *Bacillus*, podían producir quitinasas las cuales tuvieron un efecto en el crecimiento de *Alternaria alternata* y *Fusarium verticillioides*. A partir de la rizósfera del maíz, se han obtenido diversos organismos quitinolíticos, por ejemplo, *Pseudomonas fluorescens*, *Acinetobacter*, *Burkholderia*, los cuales pudieron degradar el micelio de hongos como *Fusarium* y *Alternaria* (Medina-de la Rosa et al., 2016). Así mismo, algunas cepas de *Bacillus* que fueron aisladas de la rizósfera del maíz han tenido la capacidad de controlar al hongo *Fusarium verticillioides* (Bressan & Figueiredo, 2010). La aplicación de la bacteria quitinolítica *Bacillus cereus* B25 (Morales-Ruiz et al., 2021) en cultivos de maíz, ocasionó un aumento en el rendimiento de grano de hasta 2 toneladas/hectárea en comparación con los cultivos afectados por *F. verticillioides* y se obtuvo una disminución en la concentración de las toxinas fúngicas

(fumonisinas) que produce este hongo en hasta el 93% en cultivos tratados con B25 (Lizárraga-Sánchez et al., 2015). También se han obtenido aislados bacterianos quitinolíticos de cultivos de tomate, donde se ha comprobado su eficacia en el control de algunos hongos patógenos como *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Colletotrichum* y *Aspergillus* (Malik et al., 2022).

Uno de los principales métodos de aplicación de organismos quitinolíticos es mediante bioformulados. Se han utilizado diversos medios de cultivo para el óptimo crecimiento de los organismos, esto es porque para elaborar una correcta formulación es necesario el conocimiento de las estructuras o función de los compuestos activos y las posibles interacciones entre ellos (Somal et al., 2024). Existen dos maneras tradicionales de obtener bioformulados: líquidos y sólidos. La formulación sólida consiste en la utilización de compuestos sólidos en forma de polvo o gránulos como acarreadores orgánicos o inorgánicos dependiendo del organismo a bioformular; la formulación líquida consiste en cultivos bacterianos o fúngicos a los cuales se les añade aditivos o compuestos estabilizantes (Mishra & Arora, 2016). Sin embargo, las formulaciones de organismos (sólido o líquido) han demostrado tener la capacidad de mantener la efectividad de controlar a los patógenos, por ejemplo, en cultivos de pepino, se han utilizado formulados a base de talco que contienen algunos aislados bacterianos, los cuales fueron utilizados en pruebas de crecimiento del cultivo y en el control de *Pythium ultimum* (Khabbaz & Abbasi, 2014). Así mismo, Prabhukarthikeyan et al. (2014), utilizando una formulación a base de talco con cultivos de *Bacillus subtilis* y *Beauveria bassiana*, observaron la disminución de incidencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en plantas de tomate.

Por otra parte, se han podido utilizar las quitinasas de los organismos quitinolíticos de manera directa utilizando la nanotecnología, por ejemplo, Dikbaş et al. (2021) utilizaron la técnica de inmovilización de quitinasas con nanopartículas de óxido de zinc para aplicar en granos afectados con *Sitophilus zeamais*. También se ha aplicado nanopartículas que contienen quitinasas de *Bacillus thuringiensis* sobre *Canorhabditis elegans* (Qin et al., 2016). Por lo tanto, la implementación tanto de bioformulados o nanopartículas para el control de patógenos resulta una alternativa ideal al uso de compuestos químicos.

INTERACCIÓN ENTRE PLANTAS-BACTERIAS QUITINOLÍTICAS-HONGOS PATÓGENOS

Una de las razones por la cual la investigación en interacciones planta-microorganismo se inclina por el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, que además de promover el desarrollo de las plantas, puedan producir compuestos antifúngicos o antibacterianos como las quitinasas, es su modo de acción. Durante la interacción entre, por ejemplo, un hongo y una bacteria quitinolítica, se ha comprobado que la bacteria es capaz de inducir la expresión de genes de diferentes mecanismos de antagonismo que ocasionan la reducción del desarrollo micelial del hongo e incluso disminuyen la germinación de conidios (Figueroa-López et al., 2017; Morales-Ruíz et al., 2021; Báez-Astorga et al., 2022). Esto se ha observado en diversos estudios *in vitro* y en invernadero; la bacteria quitinolítica *Bacillus*

thuringiensis demostró tener alta actividad de quitinasas (2.45 U/mg proteína) y un efecto en la disminución del crecimiento de *Curvularia lunata*, *Colletotrichum capsici* y *Fusarium oxysporum* (Chanworawit et al., 2023), así mismo, la utilización del sobrenadante libre de células de *P. chitinolyticus* en plantas de *Brassica rapa* subsp. *pekinensis* infectadas con *Plasmodiophora brassicae* disminuyó la severidad de la enfermedad en los primeros días de infección (Khodashenas-Rudsari et al., 2024).

Uno de los principales mecanismos de defensa de las plantas es la detección de Patrones Moleculares Asociados a Patógenos (PAMPs) (Figura 3). Estos elicitores pueden tener diferente naturaleza tal como: lípidos, proteínas, carbohidratos etc., los cuales fungen un papel importante en la defensa de las plantas (Guo & Cheng, 2022). Como primera instancia, en un ambiente donde se encuentra la planta, hongo y bacterias quitinolíticas, éstas últimas serian capaz de producir sus quitinasas como primer acercamiento al control del hongo patógeno liberando moléculas de la degradación de quitina de su pared celular. Estas moléculas funcionan como elicitores para la planta los cuales son detectados por proteínas transmembranales (PRR) las cuales desencadenan una respuesta de expresión génica a través de la ruta de las MAPK cinasas (activación de la proteína_cinasa activada por mitógenos), esta ruta consiste en una serie de fosforilaciones de proteínas que culmina en la inducción o represión de genes a través de proteínas conocidas como factores transcripcionales (Nicaise et al., 2009). Esta ruta ayuda a la planta a controlar infecciones de patógenos mediante la inducción de mecanismos de defensa, tales como respuesta hipersensible, producción de proteasas, cambios hormonales y muerte celular programada (Feechan et al., 2015).

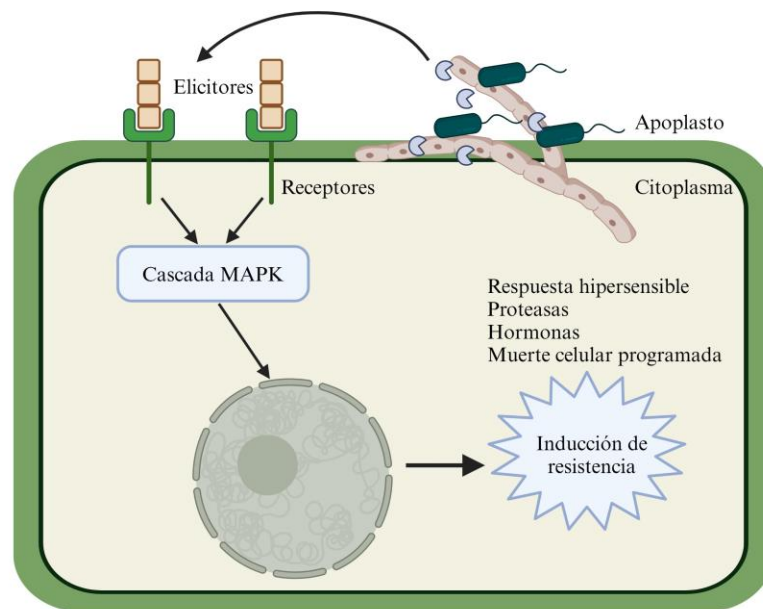


Figura 3. Inducción de mecanismos de defensa de la planta mediante quitinasas. Al detectar a un hongo patógeno las bacterias quitinolíticas utilizarán quitinasas para degradar la quitina en la pared celular del hongo. Estas moléculas llamadas quitina-oligosacáridos, son detectadas por receptores transmembranales, ocasionando que se active la cascada de MAPK quininas induciendo mecanismos de defensa de la planta para poder controlar la infección del patógeno. Figura creada con Biorender.com

CONCLUSIONES

Los cultivos de importancia agrícola se encuentran en constante riesgo debido a diversas enfermedades lo que ocasiona cuantiosas pérdidas económicas. El uso de compuestos químicos ha sido una limitante debido a altos costos y efectos que tienen en la naturaleza. Una de las alternativas son las herramientas biológicas como el uso de formulados a base de organismos promotores de crecimiento vegetal, principalmente organismos que tengan la capacidad de ejercer mecanismos de control sobre hongos fitopatógenos, tales como la producción de quitinasas. Estas enzimas juegan un papel fundamental en la respuesta ante infecciones fúngicas desde la degradación de la pared celular hasta la detección de quitooligosacáridos por la planta, induciendo diversos mecanismos de defensa.

BIBLIOGRAFÍA

- Arrouze, F., Desbrieres, J., Lidrissi Hassani, S., & Tolaimate, A. (2021). Investigation of β -chitin extracted from cuttlefish: comparison with squid β -chitin. *Polymer Bulletin*, 78(12), 7219–7239. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03466-z>
- Báez-Astorga, P. A., Cázares-Álvarez, J. E., Cruz-Mendivil, A., Quiroz-Figueroa, F. R., Sánchez-Valle, V. I., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2022). Molecular and biochemical characterization of antagonistic mechanisms of the biocontrol agent *Bacillus cereus* B25 inhibiting the growth of the phytopathogen *Fusarium verticillioides* P03 during their direct interaction in vitro. *Biocontrol Science and Technology*, 1–21. <https://doi.org/10.1080/09583157.2022.2085662>
- Basit, A., Shah, S. T., Ullah, I., Ullah, I., & Mohamed, H. I. (2021). Microbial bioactive compounds produced by endophytes (bacteria and fungi) and their uses in plant health. In: Mohamed, H.I., EI-Beltagi, H.ED.S., Abd-Elsalam, K.A. (eds) *Plant Growth-Promoting Microbes for Sustainable Biotic and Abiotic Stress Management*. Springer, Champ. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66587-6_11
- Beckham, G. T., & Crowley, M. F. (2011). Examination of the α -Chitin Structure and Decrystallization Thermodynamics at the Nanoscale. *The Journal of Physical Chemistry B*, 115(15), 4516–4522. <https://doi.org/10.1021/jp200912q>
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
- Blackwell, J. (1988). Physical methods for the determination of chitin structure and conformation. *Methods in Enzymology*, 161(C), 435–442. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(88\)61053-6](https://doi.org/10.1016/0076-6879(88)61053-6)
- Bressan, W., & Figueiredo, J. (2010). Chitinolytic *Bacillus* spp. isolates antagonistic to *Fusarium moniliforme* in maize. *Journal of Plant Pathology*, 92, 343–347.
- Chanworawit, K., Wangsoonthorn, P., & Deevong, P. (2023). Characterization of chitinolytic bacteria newly isolated from the termite *Microcerotermes* sp. and their biocontrol potential against plant

- pathogenic fungi. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 87(9), 1077–1091. <https://doi.org/10.1093/bbb/zbad080>
- Dikbaş, N., Uçar, S., Tozlu, G., Öznülüer Özer, T., & Kotan, R. (2021). Bacterial chitinase biochemical properties, immobilization on zinc oxide (ZnO) nanoparticle and its effect on *Sitophilus zeamais* as a potential insecticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(10), 173. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03138-8>
- Eisemann, C. H., & Binnington, K. C. (1994). The peritrophic membrane: Its formation, structure, chemical composition and permeability in relation to vaccination against ectoparasitic arthropods. *International Journal for Parasitology*, 24(1), 15–26. [https://doi.org/10.1016/0020-7519\(94\)90055-8](https://doi.org/10.1016/0020-7519(94)90055-8)
- Feechan, A., Turnbull, D., Stevens, L. J., Engelhardt, S., Birch, P. R. J., Hein, I., & Gilroy, E. M. (2015). The hypersensitive response in PAMP- and effector-triggered immune responses. In *Plant Programmed Cell Death* (pp. 235-268). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21033-9_10
- Figuroa-López, A. M., Leyva-Madrigal, K. Y., Cervantes-Gámez, R. G., Beltran-Arredondo, L. I., Douriet-Gámez, N. R., Castro-Martínez, C., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2017). Induction of *Bacillus cereus* chitinases as a response to lysates of *Fusarium verticillioides*. *Romanian Biotechnological Letters*, 22(4), 12722–12731.
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, 963401. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- Guo, J., & Cheng, Y. (2022). Advances in Fungal Elicitor-Triggered Plant Immunity. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(19). <https://doi.org/10.3390/ijms231912003>
- Hamid, R., Khan, M. A., Ahmad, M., Ahmad, M. M., Abdin, M. Z., Musarrat, J., & Javed, S. (2013). Chitinases: An update. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 5(1), 21–29. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.106559>
- Harti, A. S., Haryati, D. S., Sunarto, S., Setyaningsi, W., & Yatmihatun, S. (2015). The potential chito-oligosaccharide (COS) as natural prebiotic and preservatives on symbiotic tofu in Indonesia. *International Journal of Pharma Medicine and Biological Sciences*, 4(3), 204–208. <https://doi.org/10.18178/ijpmbs.4.3.204-208>
- Hou, J., Aydemir, B. E., & Dumanli, A. G. (2021). Understanding the structural diversity of chitins as a versatile biomaterial. *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, 379(2206), 20200331. <http://doi.org/10.1098/rsta.2020.0331>
- Kawata, M., Azuma, K., Izawa, H., Morimoto, M., Saimoto, H., & Ifuku, S. (2016). Biomineralization of calcium phosphate crystals on chitin nanofiber hydrogel for bone regeneration material. *Carbohydrate Polymers*, 136, 964–969. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.009>

- Kaya, M., Mujtaba, M., Ehrlich, H., Salaberria, A. M., Baran, T., Amemiya, C. T., Galli, R., Akyuz, L., Sargin, I., & Labidi, J. (2017). On chemistry of γ -chitin. *Carbohydrate Polymers*, 176, 177–186. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.076>
- Khabbaz, S. E., & Abbasi, P. A. (2014). Isolation, characterization, and formulation of antagonistic bacteria for the management of seedlings damping-off and root rot disease of cucumber. *Canadian Journal of Microbiology*, 60(1), 25–33. <https://doi.org/10.1139/cjm-2013-0675>
- Khodashenas-Rudsari, M., Zouhar, M., Manasova, M., & Li, T. (2024). Biocontrol potential of cell-free supernatant of *Paenibacillus chitinolyticus* against *Plasmodiophora brassicae* in two important Brassica species. *European Journal of Plant Pathology*, <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02885-2>
- Lavall, R. L., Assis, O. B. G., & Campana-Filho, S. P. (2007). β -Chitin from the pens of *Loligo* sp.: Extraction and characterization. *Bioresource Technology*, 98(13), 2465–2472. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.002>
- Li, K., Xing, R., Liu, S., & Li, P. (2020). Chitin and Chitosan Fragments Responsible for Plant Elicitor and Growth Stimulator. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(44), 12203–12211. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05316>
- Lizárraga-Sánchez, G. J., Leyva-Madriral, K. Y., Sánchez-Peña, P., Quiroz-Figueroa, F. R., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2015). *Bacillus cereus sensu lato* strain B25 controls maize stalk and ear rot in Sinaloa, Mexico. *Field Crops Research*, 176, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.02.015>
- Malik, M. S., Haider, S., Rehman, A., Rehman, S. U., Jamil, M., Naz, I., & Anees, M. (2022). Biological control of fungal pathogens of tomato (*Lycopersicon esculentum*) by chitinolytic bacterial strains. *Journal of Basic Microbiology*, 62(1), 48–62. <https://doi.org/10.1002/jobm.202100512>
- Mattioli-Belmonte, M., Zizzi, A., Lucarini, G., Giantomassi, F., G, B., G, T., F, O., Provinciali, M., Francesco, C., & Morganti is the family name, P. is the given name. (2007). Chitin Nanofibrils Linked to Chitosan Glycolate as Spray, Gel, and Gauze Preparations for Wound Repair. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 22, 525–538. <https://doi.org/10.1177/0883911507082157>
- Medina-de la Rosa, G., López-Reyes, L., Carcaño-Montiel, M. G., López-Olgún, J. F., Hernández-Espinosa, M. Á., & Rivera-Tapia, J. A. (2016). Rhizosphere bacteria of maize with chitinolytic activity and its potential in the control of phytopathogenic fungi. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 49(11–12), 310–321. <https://doi.org/10.1080/03235408.2016.1201345>
- Mishra, J., & Arora, N. K. (2016). Bioformulations for plant growth promotion and combating phytopathogens: a sustainable approach. In: Arora, N., Mehnaz, S., Balestrini, R. (eds) *Bioformulations: for Sustainable Agriculture*. Springer, New Delhi. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2779-3_1
- Morales-Ruíz, E., Priego-Rivera, R., Figueroa-López, A. M., Cazares-Álvarez, J. E., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2021). Biochemical characterization of two chitinases from *Bacillus cereus sensu lato*

- B25 with antifungal activity against *Fusarium verticillioides* P03. *FEMS Microbiology Letters*, 368(2), 1–8. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa218>
- Nicaise, V., Roux, M., & Zipfel, C. (2009). Recent advances in PAMP-Triggered immunity against bacteria: Pattern recognition receptors watch over and raise the alarm. *Plant Physiology*, 150(4), 1638–1647. <https://doi.org/10.1104/pp.109.139709>
- Oyeleye, A., & Normi, Y. M. (2018). Chitinase: Diversity, limitations, and trends in Engineering for suitable applications. *Bioscience Reports*, 38(4), 1–21. <https://doi.org/10.1042/BSR20180323>
- Prabhukarthikeyan, R., Saravanakumar, D., & Raguchander, T. (2014). Combination of endophytic *Bacillus* and *Beauveria* for the management of *Fusarium* wilt and fruit borer in tomato. *Pest Management Science*, 70(11), 1742–1750. <https://doi.org/10.1002/ps.3719>
- Qin, X., Xiang, X., Sun, X., Ni, H., & Li, L. (2016). Preparation of nanoscale *Bacillus thuringiensis* chitinases using silica nanoparticles for nematocide delivery. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.030>
- Kumar, M. N. V. (2000). A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*, 46(1), 1–27. [https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(00\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(00)00038-9)
- Roy, J. C., Salaün, F., Giraud, S., & Ferri, A. (2017). Solubility of Chitin: Solvents, Solution Behaviors and Their Related Mechanisms. In Z. Xu (ed.), *Solubility of Polysaccharides*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71385>
- Sahai, A. S., & Manocha, M. S. (1993). Chitinases of fungi and plants: their involvement in morphogenesis and host-parasite interaction. *FEMS Microbiology Reviews*, 11(4), 317–338. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1993.tb00004.x>
- Shamshina, J. L., Kelly, A., Oldham, T., & Rogers, R. D. (2020). Agricultural uses of chitin polymers. *Environmental Chemistry Letters*, 18(1), 53–60. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00934-5>
- Šimat, V. (2021). Nutraceuticals and Pharmaceuticals from Marine Fish and Invertebrates. *Marine drugs*, 19(7), 401. <https://doi.org/10.3390/md19070401>
- Somal, M. K., Khushboo, Bhagat, D., Sachan, R. S. K., Rana, A., & Karnwal, A. (2024). Chapter 9 - Formulation of microbial biocontrol agents—an industrial perspective. In A. Kumar, G. Santoyo, & J. B. T.-B. A. for I. A. Singh (Eds.), *Plant and Soil Microbiome* (pp. 215–226). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15199-6.00015-4>
- Souza, R. de, Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. P. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38(4), 401–419. <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>
- Brzezinska, M., Kalwasińska, A., Świątczak, J., Żero, K., & Jankiewicz, U. (2020). Exploring the properties of chitinolytic *Bacillus* isolates for the pathogens biological control. *Microbial Pathogenesis*, 148, 104462. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104462>

- Vaghela, B., Vashi, R., Rajput, K., & Joshi, R. (2022). Plant chitinases and their role in plant defense: A comprehensive review. *Enzyme and Microbial Technology*, 159, 110055. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2022.110055>
- Vallejo-Domínguez, D., Rubio-Rosas, E., Aguila-Almanza, E., Hernández-Cocoletzi, H., Ramos-Cassellis, M. E., Luna-Guevara, M. L., Rambabu, K., Manickam, S., Siti Halimatul Munawaroh, H., & Loke Show, P. (2021). Ultrasound in the deproteinization process for chitin and chitosan production. *Ultrasonics Sonochemistry*, 72, 105417. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105417>
- Wang, J. J., Zeng, Z. W., Xiao, R. Z., Xie, T., Zhou, G. L., Zhan, X. R., & Wang, S. L. (2011). Recent advances of chitosan nanoparticles as drug carriers. *International Journal of Nanomedicine*, 6, 765–774. <https://doi.org/10.2147/IJN.S17296>
- Wang, L., Chen, M., Lam, P.-Y., Dini-Andreote, F., Dai, L., & Wei, Z. (2022). Multifaceted roles of flavonoids mediating plant-microbe interactions. *Microbiome*, 10(1), 233. <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01420-x>
- Younes, I., & Rinaudo, M. (2015). Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. *Marine Drugs*, 13(3), 1133–1174. <https://doi.org/10.3390/md13031133>
- Zipfel, C. (2008). Pattern-recognition receptors in plant innate immunity. *Current Opinion in Immunology*, 20(1), 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2007.11.003>

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

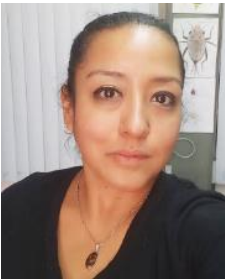
transgénicos, 139



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