

Retos en el uso extensivo de bioinoculantes para una agricultura sostenible, desde la perspectiva de México, Venezuela y Brasil

Challenges in the extensive use of bioinoculants for sustainable agriculture, from the perspective of Mexico, Venezuela, and Brazil

Blanco, E.L. ¹, Díaz-Rodríguez, A.M. ², Castro, Y. ^{3,4}, Chávez-Luzanía, R.A. ²,
Álvarez, L. ⁵, de los Santos-Villalobos, S. ^{2*} 

¹ Laboratorio de Investigación en Biotecnología y Química de Polímeros. Decanato de Investigación. Universidad Nacional Experimental del Táchira. 5001. San Cristóbal, Táchira, Venezuela.

² Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano. Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de febrero 818 sur 85000, Cd. Obregón, Sonora, México.

³ Laboratorio de Fitobiotecnología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. 5101. Mérida, Venezuela.

⁴ Laboratório de Fermentações, Universidade Federal de Lavras. 37203-202, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

⁵ Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental. Decanato de Investigación. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Apdo. 5001. San Cristóbal, Táchira, Venezuela.

RESUMEN

La creciente necesidad de reducir el impacto negativo que sobre el medio ambiente han tenido los agroquímicos en la agricultura convencional ha permitido el desarrollo de productos biotecnológicos innovadores como los bioinoculantes. Estos productos están diseñados específicamente para disminuir el uso tanto de fertilizantes químicos como de pesticidas, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles. Los bioinoculantes están compuestos por microorganismos del suelo que poseen un alto potencial para estimular el crecimiento de las plantas a través de diferentes mecanismos de acción, como la fijación de nitrógeno, la solubilización de nutrientes y la producción de compuestos bioactivos. En esta revisión, se presenta un análisis representativo de la investigación en el área de bioinoculantes en México, Venezuela y Brasil, con el objetivo de conocer la situación actual en estos países latinoamericanos. Además, se discuten las perspectivas de su aplicación a gran escala, contribuyendo así a la literatura de nuestra región, donde especialmente no existe una recopilación de investigaciones realizadas en Venezuela en este campo.



Please cite this article as/Como citar este artículo:

Blanco, E.L., Díaz-Rodríguez, A.M., Castro, Y., Chávez-Luzanía, R.A., Álvarez, L., de los Santos-Villalobos, S. (2025). Challenges in the extensive use of bioinoculants for sustainable agriculture, from the perspective of Mexico, Venezuela, and Brazil. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1807. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1807>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: October 29th 2024.

Accepted/Aceptado: March 18th 2025.

Available on line/Publicado: April 03th 2025.

PALABRAS CLAVE: Agrosostenibilidad, biocontroladores, bioestimulantes, biofertilizantes, biotecnología microbiana, PGPM.

*Corresponding Author:

Sergio de los Santos-Villalobos. Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano. Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de febrero, 818 sur, Cajeme. 85000, Ciudad Obregón, Sonora, México. Teléfono: (644) 4100900 Ext. 2124. E-mail:

sergio.delossantos@itson.edu.mx

ABSTRACT

The growing need to reduce the negative environmental impact of agrochemicals in conventional agriculture has led to the development of innovative biotechnology products such as bioinoculants. These products are specifically designed to reduce the use of both chemical fertilizers and pesticides, promoting more sustainable agricultural practices. Bioinoculants are composed of soil microorganisms that have a high potential to stimulate plant growth through different mechanisms of action, such as nitrogen fixation, nutrient solubilization, and production of bioactive compounds. In this review, a representative analysis of research in the area of bioinoculants in Mexico, Venezuela, and Brazil is presented, to know the current situation in these Latin American countries. In addition, the perspectives of their large-scale application are discussed, thus contributing to the literature of our region, where especially there is no compilation of research carried out in Venezuela in this field.

KEY WORDS: Agrosustainability, biocontrollers, biostimulants, biofertilizers, microbial biotechnology, PGPM.

Introducción

La agricultura convencional y su intensificación, mediante el uso de productos agroquímicos y maquinaria, ha permitido incrementar el potencial productivo de los agroecosistemas a nivel mundial. Sin embargo, el uso indiscriminado de estos productos ha inducido la degradación de recursos como el suelo y el agua, así como la contaminación ambiental y riesgos a la salud pública.

En este sentido, es necesario adoptar medidas ecoamigables para reducir la utilización de productos químicos y así conservar los recursos naturales, a través de la implementación de prácticas agrosostenibles que incrementen la calidad y salud del suelo. Este concepto se basa en un suelo capaz de mantener continuamente su funcionalidad como sistema vivo, conservar la calidad de sus componentes y que promueva la salud ambiental, y es en este punto en donde los microorganismos adquieren un papel trascendental (Creus, 2017).

Los bioinoculantes son productos agrobiotecnológicos compuestos por microorganismos benéficos vivos o latentes con el potencial para beneficiar el desarrollo de diferentes especies vegetales, que, al aplicarse a las semillas, superficie de las plantas o al suelo, colonizan la rizosfera o el interior de la planta, promoviendo de esta forma su crecimiento, incrementando

la disponibilidad de nutrientes y la salud de la planta hospedadora; además, se pueden usar estratégicamente como una alternativa a la utilización de fertilizantes químicos y pesticidas, contribuyendo a una agricultura sostenible que ayude a mitigar los impactos ambientales causados por los agroquímicos (Vessey, 2003; SAGARPA, 2017; Santos *et al.*, 2019). Estos bioproductos contienen Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal (PGPM), el cual es un grupo de microorganismos que crecen asociados a raíces de plantas hospedadoras y producen una estimulación del crecimiento vegetal asociada a distintos mecanismos de acción, como la fijación biológica de nitrógeno, la disolución de fosfatos inorgánicos, la producción de fitohormonas, sideróforos y antibióticos, entre otros, y forman parte del rizobioma que ofrece servicios benéficos para el crecimiento de las plantas a las que están asociados (Vessey, 2003; Orozco-Mosqueda *et al.*, 2022).

El amplio uso de estos microorganismos se debe a sus efectos como biofertilizantes (facilitan la disponibilidad de nutrientes a las plantas), bioestimulantes (estimulan el crecimiento de las plantas), y biopesticidas o agentes de control biológico (BCA) (control de fitopatógenos) (Mitra *et al.*, 2023). En la actualidad se han reportado diversos microorganismos que se han utilizado con este fin, entre los que destacan los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium* y *Streptomyces* (Creus, 2017). Recientemente, se ha estimado que los PGPM pueden variar entre el 1 y 5 % de la población total de microorganismos que compiten por colonizar la rizósfera (Antoun & Prevost, 2005; Bhattacharyya *et al.*, 2020), y por ello la importancia de masificar su producción y uso extensivo en la agricultura.

Las bioformulaciones creadas a partir de microorganismos autóctonos están actualmente en auge a nivel mundial (Soumare *et al.*, 2020), para un fin común que es el beneficio de la agricultura y la soberanía alimentaria de cada país, mediante el mejoramiento de la fertilidad de los suelos para cubrir la demanda de alimentos de la creciente población mundial utilizando estándares de calidad, en el marco del cumplimiento de los SDGs de la FAO como el hambre cero y la vida de los ecosistemas terrestres (FAO, 2021). Sin embargo, la producción de biofertilizantes a nivel industrial actúa como un cuello de botella porque las cepas bacterianas generalmente son desarrolladas y gestionadas por laboratorios de investigación y no por unidades de subproducción (Soumare *et al.*, 2020). Por esta razón, y teniendo en cuenta el número de estudios existentes, son pocos los microorganismos que se han comercializado como biofertilizantes, por lo cual es necesaria una transición eficiente desde su aislamiento y caracterización en los laboratorios hasta su comercialización y aplicación en el campo, a través de esquemas rigurosos para su uso responsablemente, como el que planteamos en la Figura 1.

En México, Venezuela y Brasil prevalece la estrategia de aislar microorganismos autóctonos para incrementar el potencial agrícola de la región, y re-inocularlos bien sea en los mismos suelos, o en suelos con características similares. En este proceso, los biofertilizantes deben vencer varias barreras para establecerse en el suelo luego de su aplicación, ya que la inoculación de microorganismos alóctonos induce una adaptación en estos a las condiciones nutricionales del suelo, al entorno rizosférico de la planta, y además deben ser competitivos con los microorganismos autóctonos del suelo (Creus, 2017; Blanco & Reyes, 2018).

Adicionalmente, hay aspectos importantes que determinan el éxito de la formulación de un bioinoculante, especialmente la selección de un vehículo para los microorganismos, el cual debería asegurar el mantenimiento de la viabilidad de las células, ser económico y de fácil aplicación. Los vehículos pueden ser sólidos o líquidos para aplicaciones en semillas, plantas o en el suelo (Khan *et al.*, 2023). Entre estos sustratos destaca la turba, por ser un material con alto contenido de materia orgánica y propiedades de protección física a los microorganismos debido a la matriz que forma, la cual permite a los microorganismos sobrevivir ante condiciones ambientales adversas (Santos *et al.*, 2019). Mientras que los vehículos líquidos pueden ser agua o los propios medios de cultivo. Otros medios para transportar los microorganismos pueden ser residuos agrícolas o industriales, bacterias liofilizadas o polímeros para encapsulación de células (Figura 1) (Suyal *et al.*, 2016; Sahu *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2019; Chaudhary *et al.*, 2020).

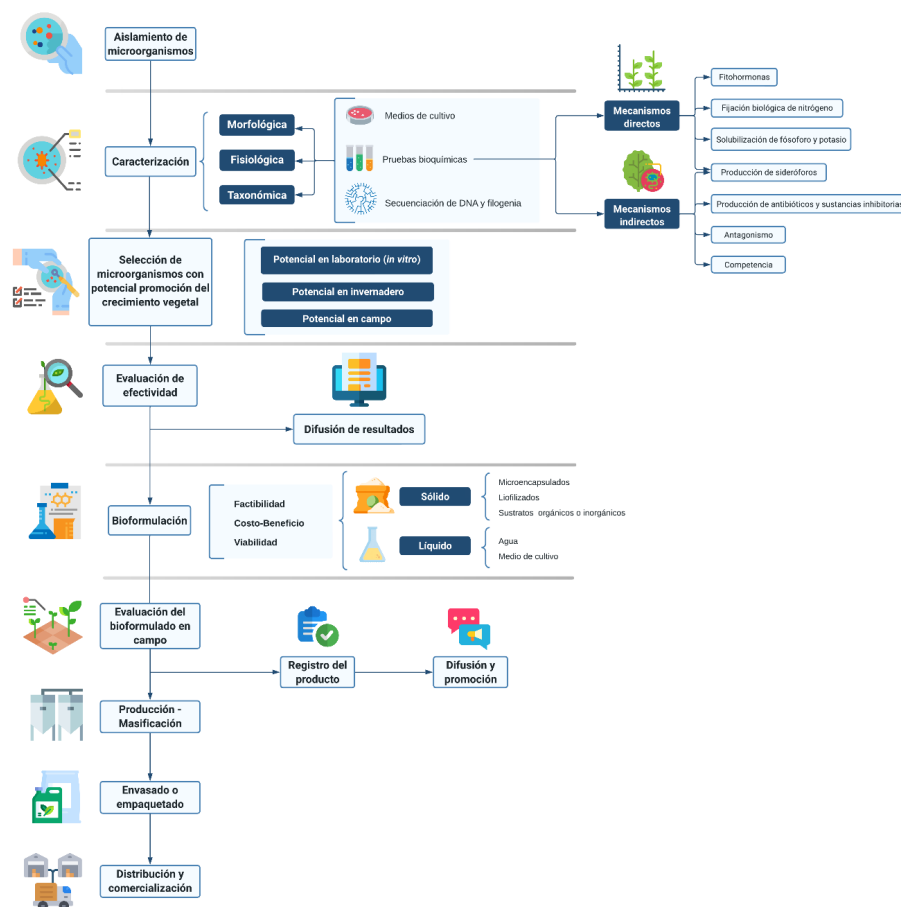


Figura 1. Esquema general de la bioprospección de microorganismos para la producción de bioinoculantes.

Fuente: Elaboración propia.

El sector de insumos para bioinoculantes ha estado creciendo fuertemente alrededor del mundo (Yadav & Yadav, 2024). El mayor mercado de estos bioinsumos se encuentra en América, donde en 2023 se registraron 2,264 solicitudes de patentes ya sea a través de regulaciones estatales de fertilizantes, o mediante afirmaciones de bioestimulantes (BPIA, 2023). América del Norte domina el mercado mundial de biofertilizantes, donde los líderes del mercado estadounidense son Kula Bio Inc., Novozymes, Rizobacter, Sustane Natural Fertilizer Inc., Symborg Inc., AgroLiquid, Indogulf BioAg LLC, Koppert Biological Systems Inc., Lallemand Inc., The Andersons Inc., UPL, y Syngenta (Sansinenea, 2021; Santos *et al.*, 2024). En segundo lugar, se encuentra Europa (Alemania, Reino Unido, España, Italia, Hungría y Francia), y en subsiguiente la región de Asia y el Pacífico (China, Japón, India, Australia, Nueva Zelanda y el resto de Asia), América del Sur y África (Basu *et al.*, 2021). En términos cuantitativos según Mordor Intelligence (2024), durante el 2022 América del Norte y Europa fueron los mayores consumidores de biofertilizantes representando el 35.9% y 31.9%, respectivamente. En Europa, el nuevo Reglamento UE 2019/1009 introduce hasta siete categorías de funciones de producto (PFC) definidas por las finalidades específicas de los diferentes bioinsumos (bioinoculantes, biofertilizantes y biocontroladores) (FAO, 2019).

En Latinoamérica la agrobiotecnología de los bioinoculantes está presente así como la de otros bioinsumos, y de acuerdo con Aramendis *et al.* (2023) estos tienen una larga tradición, pero su implementación es reciente y dinámica, aunque en pequeño volumen de acuerdo con el número de registros, empresas y categorías de productos donde se resume que en Argentina predominan los biofertilizantes, en Colombia los agentes de control biológico, en Ecuador los extractos vegetales, y en Uruguay los inoculantes biológicos. Estos autores también presentan un estudio de casos de estos países y muestran la reglamentación específica actualizada para la producción y uso de estos productos en cada uno de los países mencionados. Brasil se destaca en la comercialización y aplicación de biofertilizantes, ya que para el año 2018 rondaban los 45 millones de dosis para presentaciones líquidas, y los 10 millones de dosis para presentaciones sólidas (Santos *et al.*, 2019).

En lo referente a los estudios realizados, se ha evaluado el potencial de estos microorganismos tanto de forma individual como en consorcios, con el fin de determinar la potencialidad en cada una de sus presentaciones. Igualmente, se han realizado estudios que evalúan la compatibilidad entre las cepas y la viabilidad que conservan los microorganismos en un tiempo determinado usando diferentes tipos de sustratos que sirvan como vehículos (Blanco *et al.*, 2018; 2021^a; Blanco & Reyes, 2018; Yahya *et al.*, 2022). Por ejemplo, en México, el desarrollo de biofertilizantes ha sido objeto de interés creciente en los últimos años, desarrollando investigaciones para evaluar el potencial de los biofertilizantes, tanto en términos de microorganismos individuales como en consorcios (Ibarra-Villarreal *et al.*, 2023; Guardiola-Márquez *et al.*, 2023). Estudios recientes han abordado la eficacia de estos productos en diferentes condiciones de suelo y cultivo, destacando la necesidad de adaptar y optimizar su uso en los campos agrícolas mexicanos (Santillano-Cázares *et al.*, 2021). En este sentido, la consolidación de un marco legal adecuado se presenta como un paso fundamental para promover la adopción masiva de los biofertilizantes en la agricultura mexicana, contribuyendo así a la sustentabilidad y competitividad del sector (Carrasco *et al.*, 2024).

Aunque este artículo contemple una revisión profunda y crítica, no es posible mencionar todos los trabajos realizados en cada país sobre este tema; sin embargo, se proporciona una consideración general actualizada de las investigaciones, una compilación de los productos existentes en el mercado, y las perspectivas sobre el marco legal de la implementación de estos bioproductos, como un acercamiento del potencial de la región en esta área, especialmente en Venezuela, de la cual hay poca información que reúna el avance de esta materia en la literatura disponible. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es agrupar una parte representativa de las investigaciones que se han realizado en las últimas décadas en México, Venezuela y Brasil, y enlistar algunos productos disponibles en la actualidad, así como identificar los retos que implican la transición de la investigación al campo para expandir el uso de los biofertilizantes en la región, y aportar ideas a favor de la uniformización de normas de registro y uso de bioinoculantes para Latinoamérica.

Discusión

Bioinoculantes en México

Historia del uso de bioinoculantes

La agricultura en México ha sido uno de los grandes pilares económicos del país, en la historia se pueden identificar tres periodos de desarrollo. Durante el periodo de crecimiento, entre los años 1940 y 1957, donde la agricultura se posicionó como la principal actividad económica; además, en este periodo tuvo lugar la revolución verde, uno de los grandes eventos de la agricultura mundial, el cual se centró en el monocultivo de variedades mejoradas y el uso incrementado de fertilizantes, prácticas que fueron traducidas en aumentos productivos en arroz, trigo, maíz, entre otros (Diéguez *et al.*, 2010).

En el periodo de desarrollo, entre 1958 y 1981, donde la agricultura tuvo un papel fundamental en el establecimiento de la industria en México. Fue durante estos años que los biofertilizantes dejaron un impacto significativo, especialmente en la fijación biológica de nitrógeno en cultivos como la soya y el garbanzo. Además, la utilización generalizada de inoculantes comerciales a base de *Rhizobium* fue una práctica destacada entre los productores agrícolas, recomendada también por los centros de investigación como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010).

Finalmente, desde 1982 hasta la actualidad, la agricultura ha sufrido declives por crisis económicas y problemas ambientales consecuencia de las prácticas agrícolas convencionales no sostenibles (Chávez-Díaz *et al.*, 2020). Sin embargo, ha existido un incremento en el desarrollo de agro-biotecnologías para la producción agrícola, como la investigación sobre biofertilizantes, basadas en el uso de recursos microbianos con funciones de promoción de crecimiento vegetal, con el fin de contribuir a la seguridad alimentaria del país, disminuir los costos de producción y mejorar la calidad y sanidad de los cultivos mexicanos (Tabla 1).

Estado actual de la investigación sobre bioinoculantes

A diferencia de otros países latinoamericanos como Argentina, Brasil y Uruguay, donde los bioinoculantes cuentan con una historia larga de investigación y aplicación, en México esta tecnología desde hace más de dos décadas se encontraba en fase de expansión y adopción por parte de los productores; no obstante, la amplia trayectoria en la investigación científica sobre estos temas data de más tiempo. Este retraso en parte se debió a la abundancia, disponibilidad y costos bajos de los fertilizantes hasta el año 2007 (Aguado-Santacruz & Moreno-Gómez, 2012). Actualmente esta situación ha cambiado y se buscan alternativas que incrementen la productividad agrícola y que reduzcan el uso de agroquímicos sintéticos. Diversas investigaciones han demostrado que el uso de inoculantes a base de microorganismos con capacidad de promoción del crecimiento vegetal y agentes de control biológico representan una alternativa para mejorar la nutrición de las plantas, la tolerancia al estrés abiótico, controlar enfermedades y minimizar los problemas ambientales generados por el uso de fertilizantes sintéticos convencionales (García-Montelongo *et al.*, 2023; Nagrale *et al.*, 2023).

En México, la producción actual de biofertilizantes se realiza por empresas y por instituciones de educación e investigación (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012). A pesar de este desarrollo, la distribución y aplicación a gran escala ha tenido serias dificultades, principalmente debido a la falta de criterios unificados para la selección y caracterización de los microorganismos, estándares de calidad y optimización en el proceso de producción y bioformulación, y la variabilidad de resultados en campo (O'Callaghan *et al.*, 2022). En este sentido, las investigaciones futuras deberían considerar la interacción de los bioinoculantes con el microbioma y los factores determinantes en el agroecosistema. Por otro lado, la incorporación de estudios ecológicos, metagenómicos, de genética de poblaciones, metabolómicos y transcriptómicos son necesarios para una comprensión holística de la compleja red de interacciones que ocurren constantemente. Lo anterior nos acercará a una explicación de las variaciones en los resultados en campo, y mejorará las eficiencias en la aplicación de bioinoculantes.

Avances en las aplicaciones de bioinoculantes en campo

El desarrollo y comercio de biofertilizantes a nivel mundial, como alternativa a los fertilizantes tradicionales, ha visto un aumento en su desarrollo y comercialización en los últimos años. En 2019, el mercado fue valuado en 4 270 millones de dólares y se estima que alcance los 11 810 millones en 2027, con una tasa de crecimiento anual del 14.27 % (Montoya-Martínez *et al.*, 2022). El panorama en México, país en el que anualmente se siembran 1.52×10^7 ha (SAGARPA, 2019), ha visto prolíficos avances en materia de desarrollo de biofertilizantes, obteniendo tecnologías que permiten aumentos productivos y de calidad, a la vez que se disminuye el uso de fertilizantes sintéticos (Tabla 1).

Tabla 1. Uso de biofertilizantes en campos mexicanos y sus beneficios.

Cultivo	Microorganismo	Beneficio	Autor
<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Rhizobium etli</i> .	Aumento en peso, espesor, ancho, largo y porcentaje de proteína, utilizando fertilización reducida.	Lara-Capistrán <i>et al.</i> (2019)
<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> AcDB3, <i>Bacillus thuringiensis</i> BtMB9, <i>B. subtilis</i> BsTA16, y <i>B. amyloliquefaciens</i> BaMA26.	Inhibición de <i>Fusarium</i> spp.	Khalil <i>et al.</i> (2022)
<i>Zea mays</i>	<i>Trichoderma</i> sp. IE-978, <i>Trichoderma reesei</i> Simmons IE-639, <i>Trichoderma virens</i> Miller IE-996, y <i>Trichoderma harzianum</i> Rifai IE-980.	Rendimientos superiores a los obtenidos con maíces nativos en condiciones similares de cultivo.	Vázquez-Martínez <i>et al.</i> (2019)
<i>Jatropha curcas</i> L.	Azospirillum (Azofer®), y <i>Trichoderma</i> (Tricovel®).	La inoculación de Azospirillum en conjunto con <i>Trichoderma</i> , produjo un mayor número de frutos maduros por planta y peso de semilla por planta.	Martiñón <i>et al.</i> (2017)
<i>Triticum turgidum</i> L. subsp. durum	<i>Bacillus megaterium</i> TRQ8, <i>Bacillus paralicheniformis</i> TRQ65 y <i>Bacillus cabrialesii</i> TE3 ^T .	Aumento en longitud aérea y de raíz, peso seco aéreo y de raíz e índice de bio-volumen.	Rojas-Padilla <i>et al.</i> (2020)
		Aumento de la productividad del cultivo y conservación de la calidad de grano.	(Ayala-Zepeda <i>et al.</i> (2024)
<i>Zea mays</i>	<i>Bacillus cereus</i> strain B25.	Inhibición de la podredumbre en la raíz y mazorca causada por <i>Fusarium verticillioides</i> .	Martínez-Álvarez <i>et al.</i> (2016)
<i>Arachis hypogaea</i>	<i>Trichoderma harzianum</i> T-H3, <i>Trichoderma asperellum</i> T-AS1, <i>Trichoderma hamatum</i> T-A12, <i>Trichoderma koningiopsis</i> T-K11, y <i>Trichoderma harzianum</i> T-Ah.	Mayor producción y menor incidencia de la pudrición causada por <i>Macrophomina phaseolina</i> .	Martínez-Salgado <i>et al.</i> (2021)
<i>Cicer arietinum</i>	<i>Trichoderma harzianum</i> T1 y T2.	Aumento en la producción de vainas en 24%, longitud de la raíz en 40% y rendimiento en 23%.	Martínez-Martínez <i>et al.</i> (2020)
<i>Mangifera indica</i>	<i>Bacillus subtilis</i> 83 (Fungifree AB®).	Control de la antracnosis del mango.	Galindo <i>et al.</i> (2015)
<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Bacillus subtilis</i> QST 713.	Control del ahogamiento de plántulas de <i>Cucurbita pepo</i> causada por hongos fitopatógenos.	Solano-Báez <i>et al.</i> (2021)

Continuación

Tabla 1. Uso de biofertilizantes en campos mexicanos y sus beneficios.

Cultivo	Microorganismo	Beneficio	Autor
<i>Solanum lycopersicum</i> L. y <i>Capsicum annuum</i> L.	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> y <i>B. thuringiensis</i> .	Disminución de la severidad de la enfermedad causada por <i>Phytophthora capsici</i> .	Ley-López <i>et al.</i> (2018)
<i>Solanum tuberosum</i> L.	<i>Bacillus cabrialesii</i> subsp. tritici TSO2 ^T y <i>Bacillus</i> <i>subtilis</i> TE3 ^T _UV25.	Aumento de la productividad y disminución de la incidencia de sarna común.	Montoya- Martínez <i>et al.</i> (2024)

Fuente: elaboración propia.

En este sentido, el mercado mexicano de bioproductos a base de microorganismos de interés agrícola, dispone de acondicionadores y mejoradores de suelos (2), bioestimulantes (3), biofortificantes (3), biopesticidas y bioplagicidas (38), en diversas presentaciones, de marcas: Zare Agrhos, Indebio, Agribest, Agrokemmyca, Activa, Biofábrica Siglo XXI, Biosustenta, BIOqualitum, Biokrone, Grupo Fagro, Altus Biopharm, Agro&Biotecnia, Biocampo, Bactiva, CIASA Agro y Certis Agro México (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2021).

Experiencias de los productores

En México, diversas investigaciones se han desarrollado sobre el desarrollo, innovación y validación de los biofertilizantes. Se han consolidado diversos esfuerzos en materia de divulgación del uso de microorganismos en la agricultura de México, como es el AgroEvento realizado en 2020, 2021 y 2022, organizado por el Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNGR) del INIFAP y el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). Este evento tiene como objetivo reunir a académicos, científicos, estudiantes, técnicos, capacitadores, productores de insumos agrícolas y agricultores para compartir sus experiencias, conocimientos y perspectivas respecto al uso de productos biológicos u otras agrobiotecnologías para la innovación agrícola sustentable. De igual forma, el Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora A.C (PIEAES), el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el INIFAP, cada año desde 1955 se ha llevado a cabo el Día del Agricultor, como un espacio para la vinculación, intercambio de conocimientos y transferencia de tecnologías entre investigadores, agricultores y empresas. Por otro lado, el Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano (LBRM) del ITSON ha organizado el Foro Regional “Alternativas agrobiotecnológicas de vanguardia para contribuir a la seguridad alimentaria de forma sostenible” que se ha realizado en 2019 y 2020, donde se ha difundido con el sector productivo diversas tecnologías y estrategias enfocadas al uso eficiente de nutrientes por los cultivos agrícolas, y el incremento del rendimiento desarrolladas en dicho laboratorio.

Normativa u órgano que regule la comercialización y registro de inoculantes microbianos

En particular, México no cuenta con una normativa para la regulación de inoculantes microbianos, a pesar de que su industria está creciendo rápidamente. El registro de inoculantes microbianos es actualmente controlado por la COFEPRIS, sin embargo, para su registro no existe una distinción entre bioinoculantes, biofertilizantes, bioplaguicidas, bioestimulantes y otras variantes, por lo que todos los productos registrados ante esta instancia terminan clasificados entre plaguicidas y nutrientes vegetales dentro de su catálogo. El registro de estos productos ante COFEPRIS precisa, entre otros requisitos, de la realización de pruebas de efectividad biológica, el análisis de laboratorio del producto a comercializar y la presentación de una licencia sanitaria por el laboratorio que formula el inoculante microbiano (Ramírez-Guzmán *et al.*, 2018).

En materia de efectividad biológica, en México, la SAGARPA, a través del Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), se encarga de establecer los requisitos y especificaciones para la realización de estudios de efectividad biológica de los insumos de nutrición vegetal y plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico a través de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-077-FITO-2000 y NOM-032-FITO-1995, respectivamente; sin embargo, es determinante la actualización de este tipo de normas para las tecnologías basadas en microorganismos ya que la norma NOM-077-FITO-2000 se enfoca principalmente en nutrición química y ambas normas no son claras con respecto a la evaluación de resultados de la efectividad biológica para el uso de inoculantes (Carrasco *et al.*, 2024; Cruz-Cárdenas *et al.*, 2021).

Por último, con respecto al etiquetado de los inoculantes microbianos en México, además de las especificaciones generales en la NOM-182-SSA1-1998, lo único que se agrega en el etiquetado es el número de unidades formadoras de colonias (CFU) por gramo o mililitro de muestra, que den lugar al desarrollo de colonias en 72 horas a 37 °C, indicando el género y la especie del microorganismo o los microorganismos de que se trate (Ramírez-Guzmán *et al.*, 2018).

Ante el surgimiento de los inoculantes microbianos como una alternativa viable para incrementar la productividad agrícola y la consecuente aparición de un gran número de productos que no contemplan los mismos y mínimos criterios de calidad, el Gobierno Federal de México, a través de SAGARPA e INIFAP, diferentes instituciones y especialistas en el área, están trabajando en el desarrollo de una norma oficial específica para la evaluación de calidad, comercialización y uso de biofertilizantes.

Bioinoculantes en Venezuela

Historia y estudios iniciales

De acuerdo con López *et al.* (2010), el uso de biofertilizantes en Venezuela comenzó a finales de la década de 1940, con un trabajo realizado por Savostin (1950), que trató sobre una investigación en la sección de microbiología agrícola de la dirección de agricultura del

aquel entonces Ministerio de Agricultura y Cría (MAC). Este trabajo se orientó en demostrar los beneficios de la inoculación con cepas nativas de *Rhizobium* en plantas leguminosas (caraota, frijol y quinchoncho). Desde el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas hubo un gran impulso en el desarrollo de inoculantes, logrando la producción de Nitrobac, un biofertilizante basado en cepas nativas de *Rhizobium* y útil para leguminosas de consumo como la soya, la caraota, y otras leguminosas forrajeras como *Leucaena*, *Stylosantes*, *Siratro* y *Centrosema*, cuya existencia fue desde 1977 hasta 1991 cuando vendieron la patente a la empresa privada, y posterior a esta venta desapareció el producto del mercado (López et al., 2010).

En Venezuela, la Dra. Isbelia Reyes comenzó a investigar sobre la actividad biológica del suelo de un cafetal sometido a diferentes formas de manejo (Reyes, 1986; Reyes, 1992), la cual indica que el 43 % de los hongos y el 3 % de las bacterias, presentes en afloramientos superficiales de roca fosfórica, son capaces de solubilizar fosfatos inorgánicos insolubles, tales como fosfato tricálcico, fosfato ácido de calcio y rocas fosfáticas, y que los mayores fosfosolubilizadores en un fosfocompost a partir de pulpa de café y roca fosfática fueron *Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*, *Bacillus* y una Enterobacteriaceae. Más adelante, a finales de los años 90' se realizaron importantes avances en el aislamiento, caracterización y selección de PGPM provenientes de diferentes lugares del país. Entre los cuales, se aislaron y caracterizaron rizobios a partir de leguminosas de diferentes regiones de Venezuela y bacterias fijadoras de nitrógeno no simbióticas asociadas a gramíneas del páramo merideño (Marquina et al., 2011; Marquina et al., 2001-2002); al igual que Reyes et al. (1999^a; 1999^b) y Reyes et al. (2008) quienes probaron el efecto de aislados provenientes de diferentes plantas y localidades del estado Táchira sobre cultivos de importancia agrícola, los cuales permitieron identificar el potencial microbiano con características promotoras del crecimiento vegetal, especialmente de la región andina del país. En otras regiones también surgieron estudios destacados en la formulación de inoculantes como guía para el desarrollo de estos en los laboratorios (Martínez-Viera et al., 2006); al igual que otros experimentos utilizando bacterias fijadoras de nitrógeno y disolventes de fosfatos sobre el cultivo de maíz en combinación con fertilizantes inorgánicos y en distintos tipos de suelo (López et al., 2008).

En estudios más recientes también se ha determinado el potencial de PGPM específicamente de rizobios como biorremediadores del suelo, al reportar cepas que co-metabolizan carbamatos (Blanco et al., 2013), así como existen trabajos en donde se ha demostrado que la cinética de producción de fitohormonas tipo ácido indolacético (IAA) por PGPM muestra una curva sigmoideal, y hasta se ha mostrado el efecto promotor del crecimiento de estos microorganismos en cultivos vegetales *in vitro* (Marquina et al., 2018). Es importante destacar que los estudios reportados en Venezuela sobre PGPM han evaluado la mayoría de mecanismos que expresan dichos microorganismos en condiciones de laboratorio, invernadero y campo para inducir el crecimiento y/o salud de los cultivos (Tablas 2 y 3).

Avances en la aplicación de bioinoculantes en laboratorio, invernadero y campo

En Venezuela destacamos que en varios de sus estudios se ha evidenciado una especificidad entre los microorganismos, el suelo, y los cultivos. En este sentido, se ha demostrado que los PGPM responden de forma distinta y se han identificado especificidades entre cepa-características del suelo (Reyes & Valery, 2007), cepa-cultivo (Blanco *et al.*, 2018), cepa-variedad de la misma especie vegetal (Blanco & Reyes, 2018), cepa-cepa (Castro & Blanco, 2018; Blanco *et al.*, 2021^a), en respuesta a la interacción planta-microorganismo-suelo, indicando así que el efecto positivo de un microorganismos identificado sobre un determinado cultivo no puede ser generalizado para todos los cultivos, sino que se deben hacer estudios sobre varias especies vegetales y variedades, y tipos de suelo para determinar un amplio rango de efectividad, evitando así efectos adversos ante el cultivo a evaluar. También se ha evaluado el desarrollo de cultivos duales de microorganismos (*Enterobacter cloacae* y *Penicillium rugulosum*) para determinar la factibilidad de la producción en conjunto, cuyo estudio indicó que, aunque es mejor cultivarlos de forma individual, su aplicación más favorecedora sí es de forma dual (Blanco & Reyes, 2022). Además, se ha evaluado la combinación de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma asperellum* con fertilizantes orgánicos como la gallinaza y compost de rastrojo de tomate y fibra de coco, obteniendo incrementos en el rendimiento de papa (Roa & Bautista, 2018; Montoya *et al.*, 2018). También se han realizado investigaciones del efecto de biofertilizantes y roca fosfórica sobre gramíneas forrajeras como *Urochloa decumbens* con resultados satisfactorios (Barbosa *et al.*, 2024). La mayoría de estudios de bioinoculantes en Venezuela se ha realizado en combinación con fertilizantes inorgánicos, no obstante, se han combinado también con fertilización orgánica, para un manejo más agroecológico de los cultivos (Tabla 2).

Tabla 2. Investigaciones en invernadero y campo realizadas en Venezuela con microorganismos autóctonos aislados de diferentes zonas del país con potencial biofertilizante y bioestimulante.

Especies vegetales	Microorganismos	Beneficios	Fuente
<i>Capsicum annuum</i>	Consortio <i>Rhizobium tropici</i> y <i>Bradyrhizobium</i> sp.	Incremento de la clorofila y el contenido de N en plantas en condiciones de umbráculo (180 dds), con el 50% de fertilizante.	Castro & Blanco (2018)
	Cepas de los géneros <i>Rhizobium tropici</i> , <i>Ochrobactrum</i> sp., <i>Bradyrhizobium japonicum</i> , y <i>Bradyrhizobium</i> sp., y <i>Pseudomonas fluorescens</i> .	Incremento en el % de germinación, e incremento en número de hojas, longitud y peso seco de plántulas de 60 dds.	Blanco et al. (2018)
	Cepas de los géneros <i>Azotobacter</i> spp., <i>Azospirillum</i> spp., y <i>Rhizobium</i> spp.	Incremento en la germinación. Incremento en el %N en plantas en condiciones de umbráculo (9 semanas). Incremento en la germinación. Incremento en la longitud de la parte aérea y radical, y de la biomasa seca de la raíz, en condiciones <i>in vitro</i> .	Reyes et al. (2008)
	Cepas de los géneros <i>Rhizobium</i> spp. y <i>Azospirillum</i> spp.	Incremento del número de hojas, altura de la planta y número de botones florales con fuente de P soluble, y roca fosfórica, en condiciones de umbráculo. Incremento del rendimiento en campo sin la aplicación de P, con respecto al tratamiento de fertilización completa.	Marquina et al. (2018)
	<i>Penicillium rugulosum</i> , <i>Trichoderma</i> sp., <i>Enterobacter</i> sp., <i>Microbacterium</i> sp., <i>A. brasilense</i> y los consorcios microbianos por pares de los microorganismos.	Incremento de P disponible en el suelo con el uso de roca fosfórica. Incremento del número de hojas en campo.	Sánchez & Reyes (2018)

Continuación

Tabla 2. Investigaciones en invernadero y campo realizadas en Venezuela con microorganismos autóctonos aislados de diferentes zonas del país con potencial biofertilizante y bioestimulante.

Especies vegetales	Microorganismos	Beneficios	Fuente
<i>Lactuca sativa</i>	Dos cepas del género <i>Rhizobium</i> spp. (individuales y en consorcio).	Incremento del peso seco de plántulas a nivel de semillero (30 días).	Peña & Reyes (2007)
	Cepas de los géneros <i>Rhizobium tropici</i> , <i>Ochrobactrum</i> sp., <i>Bradyrhizobium japonicum</i> , y <i>Bradyrhizobium</i> sp., y <i>Pseudomonas fluorescens</i> .	Incremento en número de hojas, longitud y peso seco de plántulas de 30 dds.	Blanco <i>et al.</i> (2018)
	Consortio <i>Enterobacter cloacae</i> y <i>Penicillium rugulosum</i> .	Incremento en número de hojas y %P foliar. Sustitución de fuente de P soluble por roca fosfórica. Formulación de un bioinoculante sólido (campo).	Blanco & Reyes (2018)
	Consortio <i>Enterobacter cloacae</i> y <i>Penicillium rugulosum</i> .	Incremento en el % de germinación. Incremento de la vigorosidad de plántulas de dos variedades de lechuga (semillero).	Blanco & Reyes (2022)
	Tres cepas de <i>Trichoderma</i> spp.	Incremento de los parámetros de crecimiento de plántulas con la aplicación líquida y granulada del microorganismo.	Roche <i>et al.</i> (2018)

Continuación

Tabla 2. Investigaciones en invernadero y campo realizadas en Venezuela con microorganismos autóctonos aislados de diferentes

Especies vegetales	Microorganismos	Beneficios	Fuente
<i>Allium cepa</i>	Consorcio <i>Rhizobium tropici</i> , <i>Bradyrhizobium japonicum</i> .	Incremento en la vigorosidad de plántulas y mayor tasa de asimilación de CO ₂ en plántulas (semillero) y en plantas (campo).	Blanco <i>et al.</i> (2021 ^a); Blanco <i>et al.</i> (2023)
	Consorcio <i>Rhizobium tropici</i> , <i>Bradyrhizobium japonicum</i> .	Rendimiento y %N similar al control de producción solo con el 50% de fertilizante NPK en condiciones de irrigación 100%, e incrementos en el %N en bulbo en condiciones de déficit hídrico (campo).	Blanco <i>et al.</i> (2021 ^b)
	Tres cepas de <i>Trichoderma</i> spp.	Incremento de los parámetros de crecimiento de plántulas con la aplicación líquida y granulada del microorganismo.	Roche <i>et al.</i> (2018)
<i>A. Oryza sativa</i>	Consorcio de 10 cepas de los géneros: <i>Pseudomonas</i> sp., <i>Aeromonas</i> sp., <i>A. veronii</i> , <i>Serratia</i> sp., <i>Bacillus</i> sp., <i>Rhizobium</i> sp., <i>Delftia</i> sp., <i>Pseudomonas</i> sp.	Incremento del peso seco de plántulas a los 30 días de inoculadas.	Moronta-Barrios <i>et al.</i> (2018)
<i>Zea mays</i>	Cepas de los géneros <i>Azotobacter</i> spp., <i>Azospirillum</i> spp., <i>Rhizobium</i> spp.	Incremento en la germinación. Incremento en el %N, y el %P en el tejido foliar en plantas en condiciones de umbráculo (6 semanas).	Reyes <i>et al.</i> (2008)
<i>Coffea arabica</i>	<i>Penicillium rugulosum</i> , <i>Trichoderma</i> sp., <i>Enterobacter</i> sp., <i>Microbacterium</i> sp., <i>A. brasilense</i> y los consorcios microbianos por pares de los microorganismos.	Incremento de Pdisponible en el suelo con el uso de roca fosfórica. Incremento del número de hojas en campo.	Sánchez <i>et al.</i> (2018)
<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Trichoderma asperellum</i> .	Incremento del peso seco aéreo y de raíz, materia seca total, altura y diámetro del tallo de plántulas.	Bautista & Córdón (2018)

Fuente: elaboración propia.

Con respecto al tema del biocontrol se ha reportado una gran diversidad del antagonista *Trichoderma* spp. en suelos cultivados con cacao y maíz que comprenden las especies *T. brevicompactum*, *T. theobromicola*, *T. ovalisporum*, *T. asperellum*, *T. atroviride*, *T. erinaceum*, *T. harzianum*, *T. koningiopsis*, *T. pleurotum*, *T. reesei*, *T. spirale* y *T. virens*, siendo *T. harzianum* la más abundante (Rivas & Pavone, 2010; Pavone & Dorta, 2015). Incluso, se ha investigado el efecto de cepas no patógenicas de microorganismos que comúnmente son fitopatógenos como *F. oxysporum*, y se ha observado el incremento en parámetros de crecimiento de plántulas de pepino, cebolla y tomate (Bautista & Granados, 2018). Algunos de los estudios realizados en Venezuela sobre el biocontrol de PGPM sobre fitopatógenos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Algunos estudios en Venezuela de microorganismos con potencial biocontrolador.

Microorganismos biocontroladores	Fitopatógenos controlados	Beneficio	Fuente
Varias especies de rizobios y <i>P. fluorescens</i> .	<i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> .	Inhibición del crecimiento en condiciones <i>in vitro</i> . Producción de sideróforos y ácido cianhídrico.	Blanco & Castro (2021)
<i>Bacillus licheniformis</i> y <i>Bacillus pumilus</i> .	<i>Botrytis cinerea</i> <i>Fusarium solani</i> .	Inhibición del crecimiento en condiciones <i>in vitro</i>	Márquez <i>et al.</i> (2020)
		Inducción de resistencia sistémica en plantas de pimentón (<i>C. annuum</i>) <i>in vivo</i> .	
<i>Enterobacter</i> sp., <i>Penicillium rugulosum</i> , <i>Trichoderma koningii</i> .	<i>Alternaria alternata</i> .	Inhibición <i>in vitro</i> del crecimiento de <i>A. alternata</i> y control de la infección <i>in vivo</i> en plántulas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).	Alcedo & Reyes (2018)
<i>Penicillium rugulosum</i> .	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> .	Inhibición del crecimiento <i>in vitro</i> de <i>S. sclerotiorum</i> .	Blanco & Reyes (2022)
<i>Pseudomonas</i> sp., <i>Bacillus</i> sp., <i>Delftia</i> sp.	<i>Dickeya zea</i> <i>P. fuscovaginae</i> <i>Xanthomonas oryzae</i> .	Actividad antibacteriana <i>in vitro</i> contra los fitopatógenos.	Moronta-Barrios <i>et al.</i> (2018)

Continuación

Tabla 3. Algunos estudios en Venezuela de microorganismos con potencial biocontrolador.

Microorganismos biocontroladores	Fitopatógenos controlados	Beneficio	Fuente
<i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Trichoderma virens</i> , <i>Trichoderma theobromicola</i> .	<i>Crinipellis perniciosa</i> .	Capacidad biocontroladora <i>in vitro</i> de <i>Trichoderma</i> sobre el fitopatógeno.	Rivas & Pavone (2010)
<i>Trichoderma harzianum</i> y <i>Trichoderma asperellum</i> .	<i>Pyricularia grisea</i> .	Disminución del manchado del grano en plantas de arroz en vivero y control del crecimiento <i>in vitro</i> del fitopatógeno.	Núñez & Pavone (2014)
<i>Trichoderma asperellum</i> .	<i>Rhizoctonia solani</i> .	Control de la infección del fitopatógeno en plantas de maíz en condiciones de vivero.	Tortolero & Pavone (2012)

Fuente: elaboración propia.

Experiencias con el uso de bioformulaciones en campo

En el Laboratorio de Fitobioteología de la Universidad de Los Andes en Mérida, Venezuela (anteriormente conocido como Laboratorio de Fijación Biológica del Nitrógeno y Cultivo de Tejidos Vegetales *in vitro*) los profesores María Eugenia Marquina y Roberto Skwierinski[†] desarrollaron un bioinoculante con cepas nativas de rizobios, utilizando carbón vegetal molido como sustrato, el cual se ha aplicado para inocular semillas de leguminosas, y aunque no ha sido posible monitorear en campo con los productores, sí se conocen las buenas impresiones del efecto sobre la producción de caraotas y arvejas por parte de los agricultores (información personal de E.L. Blanco y Y. Castro). Por otro lado, en otras instituciones como la UNET se han fabricado biosustratos de aplicación localizada compuesto por la roca fosfórica de San Joaquín de Navay (RFSJN), arena, y sustrato orgánico compuesto de azúcar - arroz 50:50 inoculado con el consorcio *E. cloacae* y *P. rugulosum*, y se evaluó sobre el desarrollo de dos variedades de lechuga Great Lakes (GL) y Black Seeded Simpson (BSS) en condiciones de campo; se determinó la viabilidad en almacenamiento y se observó que desde su preparación se redujo en dos órdenes, es decir, de 10^8 CFU mL⁻¹ a 10^6 CFU mL⁻¹ y en este último que fue el valor aplicado en campo hubo efectividad del producto (Blanco & Reyes, 2018). También la experiencia de la evaluación del crecimiento dual para la producción de este consorcio, que no fue favorable, pero

sí su aplicación conjunta (Blanco & Reyes, 2022). En otras regiones del país recientemente se han realizado estudios para cosechar esporas de *T. asperellum* a través del proceso de floculación con resultados prometedores utilizando como producto el fertilizante Urfos 44® (Pavone-Maniscalco *et al.*, 2020). También se han estandarizado otras formulaciones granuladas de *T. asperellum* utilizando como sustrato germen de maíz desgrasado, y formulaciones líquidas usando como base aceite vegetal, lignosulfonatos y agua (Herrera *et al.*, 2020). Asimismo, se han encontrado otros sustratos abundantes y económicos y ecoamigables como el lodo de papel, un producto de desecho en la fabricación de papel, para la producción de *T. asperellum*, gracias a la actividad celulolítica de este hongo (Dorta-Vásquez *et al.*, 2019).

Sulbarán *et al.* (2012) mostraron una experiencia realizada en una finca del estado Guárico en Venezuela que resultó significativa para el área de biofertilizantes, pues allí un grupo de investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) brindaron el acompañamiento a los productores, agricultores y técnicos y demostraron los resultados benéficos de los bioinoculantes en campo sobre el cultivo de cebolla, reproduciendo el ensayo de Sulbarán *et al.* (2011) realizado en parcelas con productores sobre el cultivo de cebolla. Allí se aplicaron los productos biofertilizantes compuestos por microorganismos disolventes de fósforo y fijadores de N no simbióticos, preparados en los laboratorios de producción del Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral INSAI-Calabozo y en el laboratorio de Referencia Nacional en Investigación e Innovación en Biofertilizantes adscrito al INIA CENIAP (Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias), utilizando los métodos y procedimientos descritos por Martínez-Viera *et al.* (2006). De acuerdo con Sulbarán *et al.* (2012), los inóculos se aplicaron en campo utilizando una asperjadora mecánica de 600 L, y se aplicó solo el 50 % del fertilizante NPK. Los costos de producción de la experiencia de Sulbarán *et al.* (2012) indicaron que en campo la reducción del ciclo de cultivo de cebolla fue hasta 29 % más corto (35 días antes) para el cultivo inoculado con biofertilizantes, un ahorro del 57 % en costos de producción por concepto de fertilización con el uso de estos bioinoculantes, y un incremento del rendimiento en 24 % trayendo como beneficios el ahorro de dinero y tiempo, en otras palabras, poca inversión y mayor ingreso en menor tiempo, algo muy beneficioso y rentable para los agricultores. Con esta experiencia también se destaca la importancia de la socialización de los resultados a través de la evaluación en parcelas demostrativas, ya que con esta práctica hubo un acercamiento real desde la ciencia en laboratorio hasta la producción en campo para poder responder preguntas como: ¿cómo usar los biofertilizantes?, ¿qué dosis aplicar?, ¿cómo aplicarlos? y, sobre todo: ¿dónde se distribuyen y el costo de estos? (Sulbarán *et al.*, 2012).

Situación actual de la disponibilidad de bioinoculantes en el país

A pesar de los beneficios de los PGPM, en Venezuela la forma de utilizar dichos microorganismos ha sido generalmente a nivel local y en pequeña escala en el campo, lo que conlleva que a la fecha no haya podido establecerse la aplicación de estos microorganismos a gran escala en el país para el beneficio de la agricultura. Esto debido a que no ha sido posible masificar y bioformular la mayoría de los cultivos microbianos ya probados en investigaciones por diversas razones, tales como falta de apoyo económico a las universidades, falta de equipos,

escaso personal especializado, y poca disponibilidad de mano de obra experimental calificada producto del fenómeno migratorio de los venezolanos agudizado en los últimos 10 años.

En Venezuela, algunos de los biofertilizantes líquidos disponibles son producidos por la red de laboratorios de producción semiindustrial adscritos al Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI) (López *et al.*, 2010). Sin embargo, en el mercado actual hay disponibilidad de más bioproductos, pero no todos cuentan con un respaldo de procedencia y resultados comprobados, ni cuentan con un registro ante el INSAI. Algunos de los productos bioinoculantes formulados con PGPM con potencial biofertilizante, bioestimulante, y biocontrolador de enfermedades son *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, Rhizofos, *Azotobacter*, Azotofos, Solubilizador de fósforo, *Trichoderma* (Línea de productos del INSAI), BIOFERMAX PM, TRICOMAX PM, SOILBIOMAX PM, SUNEMAX PM (Agrobiológico Montecarmelo C.A.), TrichoGreen (Tecnovita C.A.), BioMic (GIBAA-UNET), F1 y RF MAX (Biodelta C.A.). Los precios actuales de estos productos varían para las presentaciones líquidas entre 3 y 5 USD/L, mientras que las presentaciones sólidas varían entre 2 USD y 6 USD por 50 g de producto.

En este sentido, se requiere trabajar en completar el ciclo de la producción de biofertilizantes en Venezuela a gran escala para ponerlos a disposición de la comunidad de agricultores de todas las regiones del país, de forma responsable y biosegura, de acuerdo a los estudios científicos rigurosos realizados, y así intentar reducir la resistencia que existe en la agricultura convencional en cuanto a la aceptación final de estos bioproductos y abarcar el mayor espacio posible dentro de la producción nacional.

Marco legal

Anteriormente en Venezuela los registros de productos de uso pecuario, agrícola vegetal, domésticos, salud pública e industrial, eran tramitados ante el extinto Servicio Autónomo de Sanidad Agropecuaria (SASA). En Gaceta Oficial N° 40.981 de fecha 05 de septiembre de 2016, el Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI), publicó una Providencia mediante la cual se establecen los requisitos para el otorgamiento de estos registros en sustitución del SASA, y actualmente en Gaceta Oficial N° 42.687 del 08 de agosto del 2023 el INSAI publicó la Providencia Administrativa N°007/2023 mediante la cual se establecen las Normas que regulan el Registro, Supervisión y Control de los Insumos Agroecológicos u Orgánicos y sus actividades inherentes, en la República Bolivariana de Venezuela. El permiso con el que deben contar los bioinoculantes/biofertilizantes/biocontroladores agrupados dentro de los insumos agrobiológicos es el Registro Único de Salud Agrícola Integral (RUNSAI), el cual es otorgado por el INSAI (INSAI, 2024). En la etiqueta de los productos es adecuado indicar el número de registro, número de unidades formadoras de colonias o concentración de esporas dependiendo de la naturaleza del producto, y la dosis a aplicar, así como el tiempo de viabilidad del producto.

Bioinoculantes en Brasil

Antecedentes

Los insumos biológicos comenzaron a ser producidos en las industrias brasileñas a partir de 1956, con los trabajos pioneros de los agrónomos Johanna Döbereiner (1924-2000) y João Ruy Jardim Freire (1923-2015), integrantes del plantel de científicos de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa) (Bomfim *et al.*, 2021).

Brasil tiene una larga historia de investigación con inoculantes, en 1956, fue fundada la primera fábrica de inoculantes de Brasil, en Pelotas, en el estado de Rio Grande del Sur, para seleccionar cepas para cultivos de trébol (*Trifolium* spp.) y alfalfa (*Medicago sativa*) destinados a la producción ganadera (Araújo, 2013). A principios de la década de 1960, cuando la producción de soja (*Glycine max* (L.) Merr) comenzó su expansión en Brasil, la industria de bioinoculantes a base de rizobios también siguió la misma tendencia, se abrieron nuevas fábricas de inoculantes para abastecer el mercado de este insumo, que ya era altamente efectivo en el aumento de la productividad de la soja (Santos *et al.*, 2019). Posteriormente, la expansión del cultivo de soja en el área de Cerrado (zona de sabana de Brasil) en la década de 1980, comenzó la búsqueda y selección de cepas de rizobios de élite capaces de satisfacer la demanda de nitrógeno de las plantas en condiciones de baja humedad y en suelos ácidos (Mendes *et al.*, 2004; Araújo 2013). Las primeras cepas seleccionadas para la inoculación de soja en el Cerrado brasileño fueron *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 587 y SEMIA 5019) (Peres *et al.*, 1993).

Uno de los géneros de los PGPM más conocidos y estudiados es *Azospirillum*, y Brasil es pionero en estudios con este género (Tarrand *et al.*, 1978). *Azospirillum*, bautizado inicialmente como *Spirillum* por Beijerinck (1925), modificó su nomenclatura después de que la investigadora brasileña Johanna Döbereiner estudiara y describiera su capacidad para fijar nitrógeno cuando se asocia con pastos (Döbereiner, 1979). En 1978 se añadió la nomenclatura “azo” como prefijo al nombre original, en referencia al término “azote” utilizado por Lavoisier para el elemento nitrógeno (Santos *et al.*, 2021). *Azospirillum brasilense* fue aislada por primera vez en Brasil de la rizosfera de *Digitaria decumbens* (hierba forrajera) (Döbereiner & Day, 1976) y, desde entonces, Brasil ha mantenido el liderazgo en estudios básicos con *Azospirillum*, incluida la taxonomía (Tarrand *et al.*, 1978; Ferreira *et al.*, 2019), ecología (Baldani & Döbereiner, 1980), cuantificación del aporte de BNF (Day & Döbereiner, 1976; Döbereiner, 1979; Döbereiner & Pedrosa, 1987) y aislamiento de cepas de *Azospirillum* (Magalhães *et al.*, 1983; Santos *et al.*, 2021).

A fines de la década de 1990, los beneficios de la reinoculación anual del cultivo de soja, dio lugar a la demanda de inoculantes microbianos para otros cultivos que crecen en rotación o sucesión con la soja, especialmente maíz (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.), lo que inició una evaluación de cepas de *Azospirillum* para estos dos cereales, que resultó en la identificación de seis cepas capaces de promover aumentos en el rendimiento de grano (Hungria *et al.*, 2010; Moretti *et al.*, 2018). En Brasil, el primer inoculante fue registrado por Stoller do Brasil SA (Campinas, São Paulo), paradójicamente, 14 años después de registrado el primero en Argentina

(2009). Se denominó Masterfix L gramineas y fue formulado con una combinación de las cepas *Azospirillum brasilense* Ab-V5 y Ab-V6 (Santos et al., 2019; Cassán et al., 2020).

En Brasil, el primer inoculante líquido fue aprobado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (MAPA), para uso comercial en el 2000, y una década después casi el 80 % de los inoculantes vendidos en el país estaban en formulaciones líquidas (ANPII, 2018). Particularmente en la última década se ha expandido el uso de inoculantes mixtos (coinoculación). En Brasil, la coinoculación de *Azospirillum brasilense* con *Bradyrhizobium* spp. para el cultivo de soja y *A. brasilense* con *Rhizobium tropici* para el frijol común se lanzó en 2014 y se han reportado aumentos impresionantes en el rendimiento del grano (Hungria et al. 2015; de Souza & Ferreira 2017; Nogueira et al. 2018).

Estado actual de la producción y uso de Bioinoculantes en Brasil

Brasil ocupa el quinto lugar entre los países que tienen la mayor extensión territorial enfocada a la agricultura, con cerca del 7.8 % de su territorio utilizado para prácticas agrícolas (CONAB, 2021). Según la Asociación Nacional de Productores e Importadores de Inoculantes (ANPII, 2019), para el 2009 en Brasil se vendieron 20.2 millones de dosis de inoculantes, aumentando a 73.5 millones de dosis en el 2018, lo que representa un aumento del 263 %. Por lo tanto, el mercado de bioinoculantes en Brasil ha crecido considerablemente, lo que lo convierte en una excelente oportunidad de inversión para empresas públicas y privadas nacionales e internacionales (Oliveira et al., 2022).

En el año 2019, se estimó un consumo de 70 millones de dosis de inoculantes de soja, utilizados en más del 90 % del área total sembrada en Brasil (Hungria et al., 2020), la inoculación de soja permite un rendimiento promedio de 3.5 toneladas de granos ha⁻¹, sin necesidad de fertilizantes nitrogenados. De igual forma, en el cultivo de frijol común, la venta de inoculantes mixtos entre *Azospirillum brasilense* y *Bradyrhizobium* spp. aumentó en un 85 % entre 2009 y 2013 (ANPII, 2018), y solo en 2018, se vendieron aproximadamente 280 mil dosis de inoculante para frijol en turba y formulaciones líquidas (Bomfim et al., 2021).

Los agricultores brasileños tienen más de 70 años de tradición en el uso de inoculantes basados en dos cepas de *Azospirillum brasilense* Ab-V5 y Ab-V6 (Hungria et al., 1994; 2006; 2010). Desde entonces, estas cepas se han evaluado cada vez más en experimentos con varios cultivos, incluidos arroz, caña de azúcar, pastos y para la coinoculación de leguminosas (Santos et

al., 2019; Rezende *et al.*, 2021). Por lo tanto, los excelentes resultados con estos bioinoculantes, dieron lugar a una serie de nuevos estudios que investigan los principales mecanismos que podrían explicar su buen desempeño (Tabla 4).

Tabla 4. Uso de bioinoculantes en cultivos de interés en Brasil y sus beneficios.

Cultivo	Microorganismos	Beneficio	Referencia
<i>Phaseolus vulgaris</i> .	<i>Rhizobium tropici</i> y <i>Herbaspirillum seropedicae</i> .	Alivio en el estrés hídrico, aumento de biomasa seca.	da Piedade Melo <i>et al.</i> (2017)
<i>Phaseolus vulgaris</i> .	<i>Rhizobium tropici</i> , <i>Bradyrhizobium</i> spp. y <i>Azospirillum brasilense</i> .	Las co-inoculaciones estimularon una mayor masa de nódulos y una mayor biomasa de brotes.	de Carvalho <i>et al.</i> (2020)
<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> y <i>B. diazoefficiens</i>	Aumento en la nodulación y capacidad de BNF, incremento en el rendimiento en un 27 y 28%.	Moretti <i>et al.</i> (2018)
<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	<i>Bradyrhizobium</i> spp. y <i>Azospirillum brasilense</i> .	Mejora de características morfológicas de la raíz, aumentando la capacidad de la planta para superar episodios de estrés por sequía moderada lo que permitió alcanzar mayores rendimientos. Inducción de mecanismos de resistencia sistémica adquirida (SAR) y resistencia sistémica inducida (ISR).	Rondina <i>et al.</i> (2020)
<i>Zea mays</i> L.	<i>Azospirillum brasilense</i> cepas Ab-V5 y Ab-V6.	Inducción de mecanismos de resistencia sistémica adquirida (SAR) y resistencia sistémica inducida (ISR).	Fukami <i>et al.</i> (2018)
<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>Azospirillum brasilense</i> y <i>Rhizobium pisi</i> .	Aumento significativo del rendimiento de grano de trigo, el número de granos por planta y el peso de 1000 granos en un 36 %, 11 % y 17 %.	Zaheer <i>et al.</i> (2019)
<i>Pennisetum glaucum</i> .	<i>Bacillus</i> sp.	Mejora del peso seco de brotes y raíces y el contenido de nitrógeno y fósforo.	Ribeiro <i>et al.</i> (2018)
<i>Zea mays</i> L.	<i>Azospirillum brasilense</i> Ab-V5.	Mayor crecimiento, rendimiento y eficiencia en el uso de nitrógeno.	Zeffa <i>et al.</i> (2019)

Fuente: elaboración propia.

Legislación y Normativas

Brasil tiene una larga tradición en investigación con inoculantes que contienen cepas de rizobios y *Azospirillum*. De acuerdo a las normas establecidas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (MAPA), los inoculantes comerciales deben tener la concentración mínima de 10^9 células viables de *Bradyrhizobium* y 10^8 células de *Azospirillum* por gramo o mililitro de inoculante, sin contaminantes al 10^{-5} dilución, y debe llevar sólo cepas de élite con reconocida eficiencia agronómica (Embrapa, 2021).

Microorganismos como *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azospirillum*, *Bacillus* y *Mesorhizobium*, utilizados en las formulaciones de inoculantes en solicitudes de patente, están incluidos en la lista de microorganismos autorizados para uso por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento de Brasil, de acuerdo con la Instrucción Normativa SDA No. 13 del 24 de marzo de 2011 (Oliveira et al., 2022). Actualmente, el 23 de diciembre de 2024 fue promulgada una nueva regulación específica para bioinsumos (Ley N°15.070) donde se establece criterios para la producción, registro, uso e inspección de estos productos. También aborda áreas relacionadas como la investigación, el envasado, la publicidad, el transporte, el almacenamiento, la eliminación de residuos y los incentivos para el desarrollo de bioinsumos. Con esta medida, Brasil pretende establecer una referencia mundial para la innovación agrícola sostenible (BiologicalsLatam, 2024).

Conclusiones

Teniendo en cuenta el conocimiento y la experiencia científica que juntan las bases biológicas, fisiológicas, bioquímicas, moleculares, biotecnológicas y ecológicas en la interacción planta-microorganismo-suelo, es importante evaluar parámetros de calidad de estos productos.

De acuerdo a lo descrito, para el éxito de los bioinoculantes se requiere realizar un análisis minucioso de los factores que afectan a la eficiencia de los productos basados en estos microorganismos, el cual permitirá superar las barreras que disminuyen su eficacia y que, finalmente, imponen la percepción que tienen de ellos quienes los aplican, los productores. Entre estos factores destacan distintos aspectos como el suelo, el cultivo, el proceso general de la bioprospección de microorganismos para la producción de bioinoculantes, y las prácticas de manejo agrícola que realiza el productor.

Considerando la amplia gama de beneficios que ofrecen los PGPM en un agroecosistema, es importante determinar y comprender el papel de los bioinoculantes por medio de la ciencia, el alcance de su uso, y que su desempeño o función en diversos entornos ayudará a lograr un sistema de producción agrícola sostenible en un escenario climático cambiante.

En general, y dependiendo del estado de desarrollo del país, podemos mencionar que la transición entre la investigación y la disponibilidad de bioinoculantes a los productores es el tema de mayor trabajo en los países, convencer con resultados demostrables a los productores que los PGPM mejoran la salud

y productividad de los cultivos, y conservan los recursos naturales es el fin deseable de los investigadores para facilitar su aplicación a gran escala. Por otro lado, la adopción de normativas de registro estrictas, pero no burocráticas pueden facilitar el acercamiento entre la academia y los agricultores. Además, tener en cuenta la protección al recurso microbiano del suelo y las consideraciones de bioseguridad es base para la masificación responsable de los bioinoculantes. Finalmente, el apoyo a las universidades e institutos de investigación por parte de los gobiernos y empresas privadas en cada país, es fundamental para el desarrollo de la infraestructura y el entrenamiento de personal capacitado para la producción de bioinoculantes y su disponibilidad al consumidor, en vista del gran potencial que existe en nuestra región luego de las investigaciones reportadas hoy día.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, ELB y SdlSV; manejo de datos, ELB, AMD, YC, RAC, LA; escritura y preparación del manuscrito, ELB, AMD, YC, RAC, LA; redacción, revisión y edición, ELB, AMD, YC, RAC, LA, SdlSV; administrador de proyectos, SdlSV; adquisición de fondos, SdlSV.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por la Academia de Ciencias de América Latina (ACAL), y por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) para una beca de maestría (beca número: 1221581) y una beca de doctorado (beca número: 908966).

Agradecimientos

E.L. Blanco agradece a la Academia de Ciencias de América Latina (ACAL) por la beca otorgada para realizar una pasantía corta de investigación en el Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en México. Y. Castro agradece a la Coordinación de la formación del personal de nivel superior (CAPES) en Brasil por el apoyo financiero. Todos los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Sonora, Universidad Nacional Experimental del Táchira, Universidad de Los Andes y Universidad Federal de Lavras por el apoyo otorgado.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Aguado-Santacruz, G. A., & Moreno-Gómez, B. (2012). Biofertilizantes bacterianos desarrollados por el INIFAP. In G. A. Aguado-Santacruz (Ed.), *Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura* (pp. 151-170). INIFAP/SAGARPA.
- Alcedo, Y., & Reyes, I. (2018). Microorganismos promotores de crecimiento en el biocontrol de *Alternaria alternata* en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Bioagro*, 30(1), 59-66.
- Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes [ANPII]. (2018). Estadísticas. <http://www.anpii.org.br/estatisticas>
- Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes [ANPII]. (2019). Estadísticas. <http://www.anpii.org.br/estatisticas>. East/freeway.technologies
- Antoun, H., & Prévost, D. (2005). Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. In Z. A. Siddiqui (Ed.), *PGPM: Biocontrol and biofertilization* (pp. 1-39). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-4152-7_1
- Araújo Solon, C. (2013). A evolução da produção de inoculantes no Brasil. Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (ANPII).
- Aramendis, R., Mondaini, A., & Rodríguez, A. (2023). Bioinsumos de uso agrícola: situación y perspectivas en América Latina y el Caribe. Documentos de Proyectos (LC/TS.2023/149). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.
- Ayala-Zepeda, M., Valenzuela-Ruiz, V., Parra-Cota, F. I., Chinchilla-Soto, C., de la Cruz-Torres, E., Ibba, M. I., Estrada-Alvarado, M. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2024). Genomic insights of a native bacterial consortium for wheat production sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 6, Article 100230. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100230>
- Baldani, V. L. D., & Döbereiner, J. (1980). Host-plant specificity in the infection of cereals with *Azospirillum* spp. *Soil biology and biochemistry*, 12(4), 433-439. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(80\)90021-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(80)90021-8)
- Barbosa, A., Reyes, I., Valery, A., Chacón Labrador, C., Martínez, O., & Alonso, M. F. (2024). The use of phosphate rock and plant growth promoting microorganisms for the management of *Urochloa decumbens* (Stapf.) R.D. Webster in acidic soils. *PeerJ*, 12, Article e18610. <https://doi.org/10.7717/peerj.18610>
- Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Reddy, M. S., & El Enshasy, H. (2021). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPM) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, 13(3), Article 1140. <https://doi.org/10.3390/su13031140>
- Bautista, L., & Córdón, E. (2018). Evaluación de *Trichoderma asperellum*, *Metarhizium anisopliae* y *Bacillus subtilis* en la promoción del crecimiento de plántulas de tomate y pimentón. *Revista Científica UNET*, 30(2), 425-434.
- Bautista, L., & Granados, L. (2018). Efecto de cepas no patogénicas de *Fusarium oxysporum* (Ascomycota: Nectriaceae) en plántulas de tomate, pepino y cebolla. *Revista Científica UNET*, 30(1), 113-121.

- Bhattacharyya, C., Roy, R., Tribedi, P., Ghosh, A., & Ghosh, A. (2020). Biofertilizers as substitutes for commercial agrochemicals. In M. N. Vara Prasad (Ed.), *Agrochemicals detection, treatment and remediation* (pp. 263-290). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00011-8>
- Biological Products Industry Alliance [BPIA]. (2023). The listening session report: identifying ambiguities, gaps, inefficiencies, and uncertainties in the coordinated framework for the regulation of biotechnology. <https://www.bpia.org/wp-content/uploads/2023/02/BPIA-Biostimulant-Listening-Session-Report-copy-2.pdf>
- Beijerinck, M. W. (1925). Über ein Spirillum, welches frei in Stick-stoff binden kann?. *Zentralbl. Bakteriol*, 63, 353-359.
- BiologicalsLatam. (2024). Brasil ya cuenta con una regulación específica de bioinsumos. RedAgricola. <https://biologicalslatam.com/brasil-ya-cuenta-con-una-regulacion-especifica-de-bioinsumos/>
- Blanco, E. L., & Castro, Y. (2021). Antagonismo de rizobacterias sobre hongos fitopatógenos y su actividad microbiana con potencial biofertilizante, bioestimulante y biocontrolador. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(1), 6-16. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n1.84808>
- Blanco, E. L., Castro, Y., Olivo, A., Skwierinski, R., & Moronta Barrios, F. (2018). Germinación y crecimiento de plántulas de pimentón y lechuga inoculadas con rizobios e identificación molecular de las cepas. *Bioagro*, 30(3), 207-218.
- Blanco, E. L., Marquina, M. E., & Castro, Y. (2013). Respuestas a la aplicación de carbamatos en dos aislados rizobianos provenientes de Mucuchíes, estado Mérida, Venezuela. *Bioagro*, 25(2), 117-128.
- Blanco, E.L., Rada, F., Castro, Y., & Paolini, J. (2021a). Selección de un consorcio microbiano promotor del crecimiento de plántulas de cebolla en condiciones de umbráculo. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* (LUZ), 38(2), 301-321.
- Blanco, E.L., Rada, F., & Paolini, J. (2023). The role of a microbial consortium on gas exchange and water relations in *Allium cepa* L. under water and nutritional deficit conditions. *Archives of Microbiology*, 205, 105. <https://doi.org/10.1007/s00203-023-03449-4>
- Blanco, E. L., Rada, F., Paolini, J., & Guerrero, J. A. (2021b). Effects of induced water deficit and biofertilization on growth dynamics and bulb yield of onion (*Allium cepa* L.) in a neotropical semi-arid environment. *Canadian Journal of Soil Science*, 101(3), 494-506. <https://doi.org/10.1139/cjss-2021-0011>
- Blanco, E.L., & Reyes, I. (2018). Aplicación de un biosustrato compuesto por microorganismos y roca fosfórica sobre el cultivo de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* (LUZ), 35, 408-434.
- Blanco, E.L., & Reyes, I. (2022). Caracterización de bioinoculantes y su efecto sobre el crecimiento de plántulas de dos variedades de lechuga. *Revista Científica UNET*, 34(1), 129-144.
- Bomfim, C. A., Coelho, L. G. F., do Vale, H. M. M., Carvalho, M., Megías, M., Ollero, & Bueno, F.(2021). Brief history of biofertilizers in Brazil: from conventional approaches to new biotechnological solutions. *Brazilian Journal of Microbiology*, 52, 2215-2232. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00618-9>
- Carrasco, A. M., Díaz-Rodríguez, A. M., Cota, F. I. P., & de los Santos-Villalobos, S. (2024).

- Legal framework for the development of microbial inoculants. In *New Insights, Trends, and Challenges in the Development and Applications of Microbial Inoculants in Agriculture* (pp. 143-151). Academic Press.
- Cassán, F., Coniglio, A., López, G., Molina, R., Nievas, S., Le Noir, C., Donaido, F., Torres, D., Rosas, S., Olivera, P., De Souza, E., Díaz, M., Basán, L., & Mora, V. (2020). Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 461–479. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>
- Castro, Y., & Blanco, E. L. (2018). Estimación del contenido de clorofila y nitrógeno en plantas de pimentón inoculadas con bacterias rizosféricas. *Revista Científica UNET*, 30(1), 105-112.
- Chaudhary, T., Dixit, M., Gera, R., Kumar, S., Prakash, A., Gupta, G., Shilka, P. (2020). Techniques for improving formulations of bioinoculants. *3 Biotech*, 10, 199. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02182-9>
- Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & de los Santos-Villalobos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423-1436. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>
- Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB]. (2021). Acompanhamento da safra de grãos, Safra 2020/21 – Décimo levantamento. *Brasília*, 1-68.
- Creus, C. M. (2017). Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(3), 207-209. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.07.001>
- Cruz-Cárdenas, C. I., Zelaya-Molina, L. X., Sandoval-Cancino, G., de los Santos-Villalobos, S., Rojas-Anaya, E., Chávez-Díaz, I. F., & Ramírez, S. R. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 899–913. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905>
- Da Piedade Melo, A., Olivares, F. L., Médici, L. O. et al. (2017). Mixed rhizobia and *Herbaspirillum seropedicae* inoculations with humic acid-like substances improve water-stress recovery in common beans. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, Article 6. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0090-z>
- Day, J. M., & Döbereiner, J. (1976). Physiological aspects of N₂-fixation by a *Spirillum* from Digitaria roots. *Soil Biology and Biochemistry*, 8(1), 45-50.
- De Carvalho, R. H., da Conceição Jesus, E., Favero, V. O. et al. (2020). The co-inoculation of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* increases the early nodulation and development of common beans. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, Article 860-864. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00171-8>
- De Souza, J. E. B., & de Brito Ferreira, E. P. (2017). Improving sustainability of common bean production systems by co-inoculating rhizobia and azospirilla. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.040>
- Diéguez, T., Cruz-Falcón, E., Norzagaray-Campos, A., Beltrán-Morales, M., Murillo-Amador, L., Beltrán-Morales, B., Félix, A., García-Hernández, J. L., & Valdez-Cepeda, R. (2010). Agotamiento hidro-agrícola a partir de la Revolución Verde: extracción de agua y gestión de la tecnología de riego en Baja California Sur, México. *Estudios Sociales*, 18(36), 177-201.
- Döbereiner, J., & Baldani, V. L. D. (1979). Selective infection of maize roots by streptomycin-

- resistant *Azospirillum lipoferum* and other bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 25(11), 1264-1269.
- Döbereiner, J., & Day, J. M. (1976). Associative symbioses in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. SCISPACE. <https://scispace.com/papers/associative-symbioses-in-tropical-grasses-characterization-117fehasb9>
- Döbereiner, J., & Pedrosa, F. O. (1987). Nitrogen-fixing bacteria in nonleguminous crop plants (Vol. 154, No. 1). Madison: Science Tech Publishers.
- Dorta-Vásquez, R., Valbuena, O., & Pavone-Maniscalco, D. (2019). Solid-state fermentation of paper sludge to obtain spores of the fungus *Trichoderma asperellum*. *The EuroBiotech Journal*, 3(2), 71-77. <https://doi.org/10.2478/ebtj-2019-0008>
- Embrapa Notícias. (2021). Brasil tem o primeiro laboratório público de pesquisa acreditado para análise de inoculantes. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60586241/brasil-tem-o-primeiro-laboratorio-publico-de-pesquisa-acreditado-para-analise-de-inoculantes>
- Ferreira, M. J., Silva, H., & Cunha, A. (2019). Siderophore-producing rhizobacteria as a promising tool for empowering plants to cope with iron limitation in saline soils: a review. *Pedosphere*, 29(4), 409-420. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(19\)60810-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(19)60810-6)
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2019). Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No. 1069/2009 and (EC) No. 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No. 2003/2003. <https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html.cessed>
- Fukami, J., Cerezini, P., & Hungria, M. (2018). *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *Amb Express*, 8(1), 73. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>
- Galindo, E., Serrano-Carreón, L., Gutiérrez, C. R., Balderas-Ruiz, K. A., Muñoz-Celaya, A. L., Mezo-Villalobos, M., & Arroyo-Colín, J. (2015). Desarrollo histórico y los retos tecnológicos y legales para comercializar Fungifree AB®, el primer biofungicida 100% mexicano. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 18(1), 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.05.005>
- García-Montelongo, A. M., Montoya-Martínez, A. C., Morales-Sandoval, P. H., Parra-Cota, F. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2023). Beneficial microorganisms as a sustainable alternative for mitigating biotic stresses in crops. *Stresses*, 3(1), 210-228. <https://doi.org/10.3390/stresses3010016>
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Núñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i6.1376>
- Guardiola-Márquez, C. E., Santos-Ramírez, M. T., Figueroa-Montes, M. L., Valencia-de Los Cobos, E. O., Stamatis-Félix, I. J., Navarro-López, D. E., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2023). Identification and characterization of beneficial soil microbial strains for the formulation of biofertilizers based on native plant growth-promoting microorganisms isolated from northern Mexico. *Plants*, 12(18), 3262. <https://doi.org/10.3390/plants12183262>
- Herrera, W., Valbuena, O., & Pavone-Maniscalco, D. (2020). Formulation of *Trichoderma asperellum* TV190 for biological control of *Rhizoctonia solani* on corn seedlings. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30, Article 44. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00246-9>

- Hungría, M., Campo, R. J., Souza, E. M., & Pedrosa, F. O. (2010). Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, 331(1), 413-425. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>
- Hungría, M., Nogueira, M. A., Campos, L. J. M., Menna, P., Brandi, F., & Ramos, Y. G. (2020). Seed pre-inoculation with *Bradyrhizobium* as a time-optimizing option for large-scale soybean cropping systems. *Agronomy Journal*, 112(6), 5222–5236. <https://doi.org/10.1002/agj2.20392>
- Hungría, M., Franchini, J. C., Campo, R. J., Crispino, C. C., Moraes, J. Z., Sibaldelli, R. N., Mendes, L. C., & Arihara, J. (2006). Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: Contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(4), 927-939.
- Hungría, M. (1994). Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 46.
- Hungría, M., Nogueira, M. A., & Araujo, R. S. (2015). Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: A new biotechnological tool to improve yield and sustainability. *American Journal of Plant Sciences*, 6(6), 811-817. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.66087>
- Ibarra-Villarreal, A. L., Villarreal-Delgado, M. F., Parra-Cota, F. I., Yépez, E. A., Guzmán, C., Gutiérrez-Coronado, M. A., Valdez, L. C., Saint-Pierre, C., & de los Santos-Villalobos, S. (2023). Effect of a native bacterial consortium on growth, yield, and grain quality of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. durum) under different nitrogen rates in the Yaqui Valley, Mexico. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1), 2219837. <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2219837>
- INSAI [Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral]. (2024). Registro Único de Salud Agrícola Integral (RUNSAI). <http://www.insai.gob.pe/>
- Khalil, M. M. R., Félix-Gastélum, R., Peñuelas-Rubio, O., Argentel-Martínez, L., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2022). Rhizospheric bacteria for use in preventing *Fusarium* wilt and crown root rot of tomato under natural field conditions. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/07060661.2022.2087104>
- Khan, A., Singh, A. V., Gautam, S. S., Agarwal, A., Punetha, A., Upadhayay, V. K., Kukreti, B., Bundela, V., Jugran, A. K., & Goel, R. (2023). Microbial bioformulation: A microbial-assisted biostimulating fertilization technique for sustainable agriculture. *Plant Science*, 14, 1270039. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1270039>
- Lara-Capistrán, L., Hernández-Montiel, L. G., Reyes-Pérez, J. J., Preciado-Rangel, P., & Zulueta-Rodríguez, R. (2019). Respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización en campo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1035-1046. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.936>
- Ley-López, N., Márquez-Zequera, I., Carrillo-Fasio, J. A., León-Félix, J., Cruz-Lachica, I., García-Estrada, R. S., & Allende-Molar, R. (2018). Efecto de biocontrol e inhibición germinativa de *Bacillus* spp. sobre zoosporas de *Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(2). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1711-2>
- López, M., Martínez, R., Brossard, M., Bolívar, A., Alfonso, N., Alba, A., & Pereira, H. (2008). Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos. *Agronomía Tropical*, 58(4), 391-401.

- López, M., Rodríguez, B., & España, M. (2010). Tecnologías generadas por el INIA para contribuir al manejo integral de la fertilidad del suelo. *Agronomía Tropical*, 60(4), 315-331.
- Magalhães, F. M., Baldani, J. I., Souto, S. M., Kuykendall, J. R., & Döbereiner, J. (1983). A new acid-tolerant *Azospirillum* species. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*. Rio de Janeiro, 55(4), 417-430.
- Márquez, R., Blanco, E. L., & Aranguren, Y. (2020). *Bacillus* strain selection with plant growth-promoting mechanisms as potential elicitors of systemic resistance to gray mold in pepper plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(8), 1913-1922. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.015>
- Marquina, M. E., González, N. E., & Castro, Y. (2011). Caracterización fenotípica y genotípica de doce rizobios aislados de diversas regiones geográficas de Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 59(3), 1017-1036.
- Marquina, M. E., Ramírez, Y., & Castro, Y. (2018). Efecto de bacterias rizosféricas en la germinación y crecimiento del pimentón (*Capsicum annuum* L. var. Cacique gigante). *Bioagro*, 30(1), 3-16.
- Marquina, M. E., Skwierinski, R. M., & Briceño, B. (2001-2002). Actividad reductora de acetileno de bacterias asociadas a las Glumifloras del páramo Loma Redonda, Mérida-Venezuela. *Pittieria*, 2(31), 57-69.
- Martínez-Álvarez, J. C., Castro-Martínez, C., Sánchez-Peña, P., Gutiérrez-Dorado, R., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2016). Development of a powder formulation based on *Bacillus cereus* sensu lato strain B25 spores for biological control of *Fusarium verticillioides* in maize plants. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(5), 75. <https://doi.org/10.1007/s11274-015-2000-5>
- Martínez-Martínez, T. O., Guerrero-Aguilar, B. Z., Pecina-Quintero, V., Rivas-Valencia, P., González-Pérez, E., & Ángeles-Núñez, J. G. (2020). Antagonismo de *Trichoderma harzianum* contra la fusariosis del garbanzo y su efecto biofertilizante. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(5), 1135-1147. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2325>
- Martínez-Salgado, S. J., Andrade-Hoyos, P., Parraguirre-Lezama, C., Rivera-Tapia, A., Luna-Cruz, A., & Romero-Arenas, O. (2021). Biological control of charcoal rot in peanut crop through strains of *Trichoderma* spp. in Puebla, México. *Plants*, 10(12), 2630. <https://doi.org/10.3390/plants10122630>
- Martínez-Viera, R., López, M., Brossard, M., Tejeda, G., Pereira, H., Parra, C., Rodríguez, J., & Alba, A. (2006). Procedimientos para el estudio y fabricación de biofertilizantes bacterianos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, 11, 8.
- Martiñón, A. S., Figueroa, R., Piña, J., Castro, C., Leana, J. L., & Aguilar, D. (2017). Evaluación de biofertilizantes y enraizador hormonal en jatropha (*Jatropha curcas* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 463-469. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.66>
- Mendes, I. C., Hungria, M., & Vargas, M. A. T. (2004). Establishment of *Bradyrhizobium japonicum* and *B. elkanii* strains in a Brazilian Cerrado oxisol. *Biology and Fertility of Soils*, 40(1), 28-35. <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0739-1>
- Mitra, D., Santos-Villalobos, S. D. L., Parra-Cota, F. I., Montelongo, A. M. G., Blanco, E. L., Lira, V. L., Olatunbosun, A. N., Khoshru, B., Mondal, R., Chidambaranathan, P., Panneerselvam, P., & Das Mohapatra, P. K. (2023). Rice (*Oryza sativa* L.) plant protection using dual biological control and plant growth-promoting agents: Current scenarios and future prospects.

- Pedosphere*, 33(2), 268-286. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.034>
- Montoya, C., Arias, K., Chacón, H., Sulbarán, J., & Ramírez, B. (2018). Evaluación de *Trichoderma asperellum* y mezclas de sustratos en la producción de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Granola. *Revista Científica UNET*, 30(2), 444-451.
- Montoya-Martínez, A. C., Chávez-Luzanía, R. A., Olguín-Martínez, A. I., Ruíz-Castrejón, A., Moreno-Cárdenas, J. D., Esquivel-Chávez, F., Parra-Cota, F. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2024). Biological control of *Streptomyces* species causing common scabs in potato tubers in the Yaqui Valley, Mexico. *Horticulturae*, 10(8), 865. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080865>
- Montoya-Martínez, A. C., Parra-Cota, F. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2022). Beneficial microorganisms in sustainable agriculture: Harnessing microbes' potential to help feed the world. *Plants*, 11(3), 372. <https://doi.org/10.3390/plants11030372>
- Mordor Intelligence. (2024). Market research company | Biofertilizer market size - Industry report on share, growth trends & forecasts analysis up to 2029. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/global-biofertilizers-market-industry>
- Moretti, L. G., Lazarini, E., Bossolani, J. W., Parente, T. L., Caioni, S., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2018). Can additional inoculations increase soybean nodulation and grain yield?. *Agronomy Journal*, 110, 715-721. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.09.0540>
- Moronta-Barrios, F., Gionechetti, F., Pallavicini, A., Marys, E., & Venturi, V. (2018). Bacterial microbiota of rice roots: 16S-based taxonomic profiling of endophytic and rhizospheric diversity, endophytes isolation and simplified endophytic community. *Microorganisms*, 6(14). <https://doi.org/10.3390/microorganisms6010014>
- Nagrale, D. T., Chaurasia, A., Kumar, S., et al. (2023). PGPM: The treasure of multifarious beneficial microorganisms for nutrient mobilization, pest biocontrol, and plant growth promotion in field crops. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39, 100. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03536-0>
- Nogueira, M. A., Prando, A. M., Oliveira, A. B., Lima, D., Conte, O., Harger, N., Oliveira, F. T., & Hungria, M. (2018). Ações de transferência de tecnologia em inoculação/coinoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na cultura da soja na safra 2017/18 no Estado do Paraná. Londrina: Embrapa Soja.
- Núñez, L., & Pavone, D. (2014). Tratamiento biológico del cultivo de arroz en condiciones de vivero empleando el hongo *Trichoderma* spp. *Interciencia*, 39(3), 185-190.
- O'Callaghan, M., Ballard, R. A., & Wright, D. (2022). Soil microbial inoculants for sustainable agriculture: Limitations and opportunities. *Soil Use and Management*, 38(3), 1340-1369.
- Oliveira, A. M., Costa, M. R., Graziotti, P. H., Abreu, C. M., Bispo, N. S., Roa, J. P. B., Silva, D. M., & Miranda, J. M. (2022). Brazilian scenario of inoculant production: A look at patents. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 46, e0210081. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210081>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). Marco estratégico para 2022-2031. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/45f12eb4-4625-4a59-af29-8305379fc710/content>
- Orozco-Mosqueda, M. del C., Fadji, A. E., Babalola, O. O., Glick, B. R., & Santoyo, G. (2022). Rhizobiome engineering: Unveiling complex rhizosphere interactions to enhance plant growth and health. *Microbiology Research*, 263, 127137. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127137>

[micres.2022.127137](#)

- Pavone, D., & Dorta, B. (2015). Diversidad del hongo *Trichoderma* spp. en plantaciones de maíz de Venezuela. *Interciencia*, 40(1), 23-31.
- Pavone-Maniscalco, D., Pinto, M., Pacheco-Calderón, R., Mora, D., Andara, C., Bello, A., Hernández, M., Correa, M. A., & Valbuena, O. (2020). A simple method for harvesting *Trichoderma asperellum* spores. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(1), 65-67. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.10.1.65-67>
- Peña, H., & Reyes, I. (2007). Aislamiento y evaluación de bacterias fijadoras de nitrógeno y disolventes de fosfatos en la promoción del crecimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Interciencia*, 32(8), 560-565.
- Peres, J. R. R., Mendes, I. C., Suhet, A. R., & Vargas, M. A. T. (1993). Eficiência e competitividade de estirpes de rizóbios para a soja em solos do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 17, 357-363.
- Ramírez-Guzmán, K., Torres-León, C., Martínez-Terrazas, E., De la Cruz-Quiroz, R., Flores-Gallegos, A. C., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2018). Biocontrol as an efficient tool for food control and biosecurity. *Food Safety and Preservation*, 167-193. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814956-0.00007-x>
- Reyes, I. (1986). Actividad biológica del suelo de un cafetal sometido a diferentes formas de manejo. Trabajo de Grado de Maestría, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias. Mérida, Venezuela.
- Reyes, I. (1992). Dinámica del fósforo y aislamiento de algunos microorganismos en la mezcla pulpa de café - roca fosfórica. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17, 397-408.
- Reyes, I., Álvarez, L., El-Ayoubi, H., & Valery, A. (2008). Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz. *Bioagro*, 20(1), 37-48.
- Reyes, I., Bernier, L., Simard, R., Tanguay, P., & Antoun, H. (1999b). Characteristics of phosphate solubilization by an isolate of a tropical *Penicillium rugulosum* and two UV-induced mutants. *FEMS Microbiology Ecology*, 28, 291-295.
- Reyes, I., Bernier, L., Simard, R., & Antoun, H. (1999a). Effect of nitrogen source on the solubilization of different inorganic phosphates by an isolate of *Penicillium rugulosum* and two UV-induced mutants. *FEMS Microbiology Ecology*, 28, 281-290.
- Reyes, I., & Valery, A. (2007). Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) con *Azotobacter* spp. *Bioagro*, 19(3), 117-126.
- Rezende, C. C., Silva, M. A., Frasca, L. L. M., Faria, D. R., Filippi, M. C. C., Lanna, A. C., & Nascente, A. S. (2021). Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. *Research, Society and Development*, 10(2), e50810212725. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12725>
- Ribeiro, V. P., Marriel, I. E., de Sousa, S. M., Lana, U. G., Mattos, B. B., de Oliveira, C. A., & Gomes, E. A. (2018). Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.06.005>
- Rivas, M., & Pavone, D. (2010). Diversidad de *Trichoderma* spp. en plantaciones de *Theobroma cacao* L. del estado Carabobo, Venezuela, y su capacidad biocontroladora sobre *Crinipellis pernicios* (Stahel) Singer. *Interciencia*, 35(10), 777-783.
- Roche, L., Vera, R., Galvis, J., Moreno, B. (2018). Evaluación de la aplicación líquida o granulada de *Trichoderma* spp. para promover el crecimiento de *Allium cepa* y *Lactuca sativa*. *Revista*

- Científica UNET*, 30(1), 139-149.
- Rojas-Padilla, J., Chaparro-Encinas, L. A., Robles-Montoya, R. I., & de-los Santos Villalobos, S. (2020). Promoción de crecimiento en trigo (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) por la co-inoculación de cepas nativas de *Bacillus* aisladas del Valle del Yaqui, México. *Nova Scientia*, 12(24). <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2136>
- Rondina, A. B. L., dos Santos Sanzovo, A. W., Guimarães, G. S., et al. (2020). Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 537–549. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01453-0>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2017, 4 de julio). Acuerdo por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del Programa de Fomento a la Agricultura de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación para el ejercicio 2018. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5509548&fecha=29/12/2017#gsc.tab=0
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2019). Agricultura. <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/#Tabulados>
- Sahu, P. K., Gupta, A., Singh, M., Mehrotra, P., & Brahma Prakash, G. P. (2018). Bioformulation and fluid bed drying: A new approach towards an improved biofertilizer formulation. En Sengar, R., & Singh, A. (Eds.), *Eco-friendly agro-biological techniques for enhancing crop productivity* (pp. 47-62). https://doi.org/10.1007/978-981-10-6934-5_3
- Sánchez, L. A., Dávila, B., Briceño, J., & Valery, A. (2018). Los biofertilizantes como una herramienta de la agricultura sostenible en los cultivos del pimentón y del café. *Revista Científica UNET*, 30(2), 435-443.
- Sánchez, L. A., & Reyes, I. (2018). Incidencia de la inoculación con microorganismos rizosféricos benéficos y roca fosfórica sobre el crecimiento del pimentón (*Capsicum annum* L.). *Revista Científica UNET*, 30(1), 122-128.
- Sansinenea, E. (2021). Application of biofertilizers: current worldwide status. En *Biofertilizers* (pp. 183–190). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821667-5.00004-X>
- Santillano-Cázares, J., Turmel, M. S., Cárdenas-Castañeda, M. E., Mendoza-Pérez, S., Limón-Ortega, A., Paredes-Melesio, R., ... & Ortiz-Monasterio, I. (2021). Can biofertilizers reduce synthetic fertilizer application rates in cereal production in Mexico?. *Agronomy*, 12(1), 80.
- Santos, F., Melkani, S., Oliveira-Paiva, C., Bini, D., Pavuluri, K., Gatiboni, L., Mahmud, A., Torres, M., McLamore, E., & Bhadha, J. H. (2024). Biofertilizer use in the United States: definition, regulation, and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13347-4>
- Santos, M. S., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2019). Microbial inoculants: Reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express*, 9, 205. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0>
- Santos, M. S., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2021). Outstanding impact of *Azospirillum brasilense* strains Ab-V5 and Ab-V6 on the Brazilian agriculture: Lessons that farmers are receptive to adopt new microbial inoculants. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45.
- Savostin, P. (1950). La eficiencia de la inoculación artificial de las plantas leguminosas en Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. (1997, 8 de enero). NOM-032-

- FITO-1995: Requisitos y especificaciones fitosanitarias para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico. Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4864052&fecha=08/01/1997
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020, 24 de abril). NOM-077-FITO-2000: Estudios de efectividad biológica en insumos de nutrición vegetal de uso agrícola y su Dictamen Técnico. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5592222&fecha=24/04/2020
- Solano-Báez, A. R., Leyva-Mir, S. G., Núñez-Pastrana, R., Quezada-Salinas, A., & Márquez-Licona, G. (2021). Biocontrol of damping-off of zucchini squash seedlings with *Bacillus subtilis* QST 713. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(2), 302-313. <http://dx.doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2101-2>
- Soumare, A., Boubekri, K., Lyamlouli, K., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., & Kouisni, L. (2020). From isolation of phosphate solubilizing microbes to their formulation and use as biofertilizers: Status and needs. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 425. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00425>
- Sulbarán, J., Barrios, R., López, M., & Ferrer, J. (2011). Beneficios de los biofertilizantes en cebolla. Bioestimulación del crecimiento (Parte I). INIA Divulga.
- Sulbarán, J., Barrios, R., López, M., & Ferrer, J. (2012). Beneficios de los biofertilizantes en cebolla. Rendimientos, costos de producción y socialización de resultados (Parte II). INIA Divulga.
- Suyal, D. C., Soni, R., Sai, S., & Goel, R. (2016). Microbial inoculants as biofertilizer. Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity: Vol. 1. *Research Perspectives*, 311-318. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5_18
- Tarrand, J. J., Krieg, N. R., & Döbereiner, J. (1978). A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. *Canadian Journal of Microbiology*, 24(8), 967-980. <https://doi.org/10.1139/m78-160>
- Tortolero, J., & Pavone, D. (2012). Efecto de *Trichoderma* spp. sobre *Rhizoctonia solani* y algunos parámetros fisiológicos en *Zea mays* L. bajo condiciones de vivero. *Fitopatología Venezolana*, 25, 10-15.
- Vázquez-Martínez, J. A., González-Cárdenas, J. C., Chiquito-Contreras, R., Sangabriel-Conde, W., & Alvarado-Castillo, G. (2019). Evaluación del potencial biofertilizante de cinco especies de *Trichoderma* en la producción de maíz elotero nativo e híbrido bajo condiciones de campo. *Información Técnica Económica Agraria*. <https://doi.org/10.12706/itea.2019.006>
- Vessey, J. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571-586.
- Yadav, A., & Yadav, K. (2024). Challenges and opportunities in biofertilizer commercialization. *SVOA Microbiology*, 5(1), 1–14. <https://doi.org/10.58624/SVOAMB.2024.05.037>
- Yahya, M., Rasul, M., Sarwar, Y., Suleman, M., Tariq, M., Hussain, S. Z., ... & Yasmin, S. (2022). Designing synergistic biostimulants formulation containing autochthonous phosphate-solubilizing bacteria for sustainable wheat production. *Frontiers in Microbiology*, 13, 889073. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.889073>
- Zaheer, M. S., Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Khan, I. H., Ahmad, S., Iqbal, R., & Manevski, K. (2019). Investigating the effect of *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium pisi* on agronomic

- traits of wheat (*Triticum aestivum* L.). Archives of Agronomy and Soil Science, 65(11), 1554-1564. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1566954>
- Zeffa, D. M., Perini, L. J., Silva, M. B., ... & Azeredo, L. S. (2019). Azospirillum brasilense promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. PLoS One, e0215332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332>