

RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL (PGPR): UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA 1990-2019

PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA (PGPR): A SYSTEMATIC REVIEW 1990-2019

¹Anny Melissa Posada Castaño, ²Diana Patricia Mejía Durango,
³Diana Polanco-Echeverry, ⁴Jaiberth Antonio Cardona Arias

¹ Microbióloga Industrial y Ambiental, MSc (estudiante) en Microbiología Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

² Microbióloga Industrial y Ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

³ PhD Agroecología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

⁴ MSc Epidemiología, MSc Economía Aplicada, PhD (candidato) Salud Pública, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

¹anny.posada@udea.edu.co, ²diana.mejiad@udea.edu.co,

³diana.polanco@udea.edu.co, ⁴jaiberth.cardona@udea.edu.co

Citación: Posada, A., Mejía, D., Polanco-Echeverry, D., y Cardona, J. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 161 – 178.

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4040>

RESUMEN

Contextualización: actualmente se utilizan grandes cantidades de agroquímicos para aumentar la productividad agrícola, lo cual ha acarreado múltiples problemáticas ambientales que podrían subsanarse con el uso de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR), fomentando el desarrollo de una agricultura sostenible.

Vacío de conocimiento: la información se encuentra dispersa y, a la fecha, no existe un análisis sistemático que permita una descripción precisa de las investigaciones sobre PGPR, lo cual representa una limitación para su aplicación y el desarrollo de investigaciones experimentales posteriores.

Objetivos: describir las principales aplicaciones de las PGPR en investigaciones originales a nivel mundial.

Metodología: la revisión sistemática se realizó en tres bases de datos multidisciplinarias siguiendo las recomendaciones Cochrane y PRISMA. Se garantizó exhaustividad, reproducibilidad y evaluación de la calidad. Los análisis se basaron en frecuencias e intervalos de confianza del 95% para las proporciones.

Resultados y conclusiones: se identificaron 2.525 estudios y solo 160 cumplieron el protocolo de selección. La mayoría de los estudios proceden de la India; los principales géneros microbianos descritos fueron *Bacillus*, *Pseudomonas*

y *Enterobacter*; y los mecanismos PGPR más investigados fueron: producción de ácido indolacético (AIA), solubilización de fosfato, antagonismo y producción de sideróforos. Las especies vegetales más frecuentes en los estudios fueron maíz, tomate, trigo y arroz, en las cuales los principales efectos de las PGPR se relacionaron con el peso y la longitud de la raíz y de la planta en general. Se concluye que esta revisión identificó los géneros de PGPR, mecanismos de acción PGPR y las especies vegetales de mayor frecuencia en los estudios, variables útiles para resumir la evidencia en este campo del conocimiento e identificar las principales líneas de acción en futuras investigaciones tendientes a mejorar la salud, producción de cultivos y sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: agricultura sostenible; cultivos; microorganismos benéficos; disponibilidad de nutrientes; biocontrol; PGPR; sistematización de estudios

ABSTRACT

Contextualization: nowadays, large quantities of agrochemicals are used to increase agricultural productivity; this has caused many environmental problems that can be solved using Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), encouraging sustainable agriculture.

Knowledge gap: information is often scattered and, to date, there is no systematic analysis that allows an accurate description of studies about PGPR, which represents a limitation in further experimental research developments.

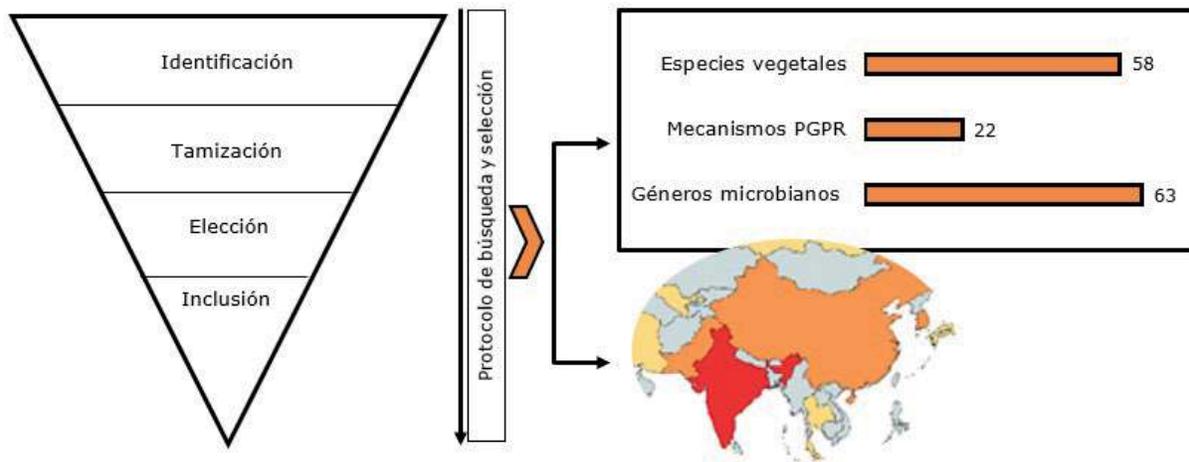
Purpose: describe the main applications of PGPR in original research worldwide.

Methodology: the systematic review was carried out in three multidisciplinary databases following the Cochrane and PRISMA recommendations. Completeness, reproducibility and quality assessment were guaranteed. The analyzes were based on frequencies and 95% confidence intervals for the proportions

Results and conclusions: 2,525 studies were identified and only 160 met the selection protocol. The majority of studies are from India; the main microbial genera described were *Bacillus*, *Pseudomonas* and *Enterobacter*; and the most investigated PGPR mechanisms were indolacetic acid production (AIA), phosphate solubilization, antagonism and siderophores production. The most frequent plant species in the studies were corn, tomato, wheat and rice, in which the main effects of the PGPR were related weight and length of the root and the plant in general. It is concluded that this review identified the genres of PGPR, mechanisms of action PGPR and plant species of greater frequency in the studies, useful variables to summarize the evidence in this field and identify the main lines of action in future research aimed at improving health, crop production and environmental sustainability.

Keywords: sustainable agriculture; crops; beneficial microorganisms; biocontrol; nutrient availability; PGPR; studies systematization

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la agricultura intensiva se encuentra asociada con múltiples problemáticas ambientales que incluyen enfermedades, sequía, deficiencia de nutrientes, erosión, pérdidas de la biodiversidad, y fragmentación del paisaje, entre otros. Además, el uso masivo de compuestos químicos conlleva un incremento de los costos de producción para los agricultores de todo el mundo y conduce a una importante contaminación ambiental; así como a la disminución a largo plazo de la productividad de los cultivos (Jewell *et al.*, 2010).

En este contexto, las prácticas agrícolas se deben dirigir a una agricultura sostenible con el fin de mantener el rendimiento de los cultivos y preservar los agroecosistemas. Una de las alternativas para lograr la sostenibilidad en la producción agrícola es el uso de microorganismos del suelo, como las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR, Plant Growth Promoting Rhizobacteria), que colonizan activamente las rizósfera, ejerciendo un efecto benéfico sobre el desarrollo de las plantas. Las PGPR pueden

influir en el crecimiento de las plantas mediante mecanismos directos como la fijación de nitrógeno, la solubilización de minerales y la producción o cambio en la concentración de hormonas vegetales; y por mecanismos indirectos como producción de metabolitos antifúngicos, sideróforos, actividad lítica, inducción de resistencia sistémica, competencia y desplazamiento (Schroth y Becker, 1990; Kloepper, 1993).

Por lo anterior, en las últimas décadas se ha incrementado el interés por el estudio de este grupo de bacterias, no solo por su potencial para la estimulación del crecimiento de cultivos o como agentes de biocontrol, sino además por su uso prometedor en la descontaminación de suelos, reforestación y recuperación de ecosistemas. Es por esto que se ha hecho necesario realizar estudios experimentales que permitan evaluar el papel de las PGPRs en la agricultura. Mukhtar *et al.* (2017) demostraron el efecto de bacterias solubilizadoras en el crecimiento del trigo; Xiang *et al.* (2017) se centraron en la evaluación del potencial de las PGPR como

agentes de biocontrol en soja. También se ha demostrado la influencia de las PGPRs para estimular el crecimiento de las plantas en diferentes condiciones de estrés, como lo presentan Mahmood *et al.* (2016) bajo condiciones de salinidad. De manera similar, Rizvi y Khan (2018) evaluaron el potencial PGPR bajo condiciones de estrés por metales. También se han llevado a cabo diversas revisiones narrativas, por ejemplo, Etesami y Maheshwari (2018) describen los mecanismos de acción a través de los cuales las PGPR podrían aliviar el estrés abiótico en las plantas, mientras que la revisión de Mhatre *et al.* (2018) se concentró en las estrategias de control biológico de nematodos basados en PGPR.

Estos antecedentes evidencian la disponibilidad de investigaciones sobre las PGPR; sin embargo, la información se encuentra dispersa y, a la fecha, no existe un análisis sistemático y exhaustivo que describa y sintetice de forma global las investigaciones sobre PGPR, así como los mecanismos de acción y su efecto sobre diferentes cultivos, lo cual representa una limitación en este campo del conocimiento y una barrera para el desarrollo de investigaciones experimentales posteriores. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue realizar un análisis sistemático de las publicaciones sobre PGPR en el ámbito mundial, permitiendo sintetizar la evidencia de los mecanismos de acción, variables de respuesta de las plantas, microorganismos y plantas utilizadas en la evaluación del potencial PGPR.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio: revisión sistemática de la literatura científica, bajo el enfoque amplio

de Cochrane, que corresponde a un resumen completo de la evidencia. Este enfoque es una aproximación práctica para resumir la literatura científica mundial disponible en un campo específico del conocimiento, actualizar la evidencia alrededor de una temática en particular, agrupar las investigaciones disponibles, analizar las tendencias, y generar hipótesis o identificar áreas relevantes para orientar estudios posteriores (Centro Cochrane Iberoamericano, 2012).

Protocolo de investigación de acuerdo con PRISMA (Urrutia y Bonfill, 2010)

Identificación de artículos y estrategia de búsqueda: realizó una búsqueda sistemática de literatura en las bases de datos ScienceDirect, PubMed y Scielo. En ScienceDirect se empleó la opción "Título/Resumen/Palabras claves" de la búsqueda avanzada, ingresando el término "PGPR" y "Plant growth promoting rhizobacteria". En PubMed y Scielo se usó la opción "Título/Resumen" de la búsqueda, ingresando los mismos términos. Se exportaron las referencias encontradas, junto con su respectivo resumen, a un administrador de referencias Zotero, en el que se eliminaron las referencias duplicadas. De manera retrospectiva, no se aplicaron restricciones y, de manera prospectiva, la última actualización del protocolo se realizó en julio del 2019, de esta forma se estableció la ventana de tiempo de esta revisión entre 1990, que corresponde a la década en que se halló la publicación más antigua, y el 2018, con una actualización manual para identificar nuevas publicaciones en 2019.

Tamizado: se incluyeron investigaciones con los términos de búsqueda en título, resumen o palabras clave, investigaciones originales (con

lo cual se excluyeron editoriales y revisiones de tema) y estudios en los cuales el desenlace central se enfocaba en rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal.

Elección: esta fase se excluyeron los artículos en los que no fue explícita la evaluación del mecanismo promotor de crecimiento vegetal por parte de microorganismos; que no realizaran ensayos *in vitro*; y que incluyeran pruebas de estimulación *in vivo* bajo condiciones no inducidas, es decir, se excluyeron aquellos estudios donde realizaron pruebas *in vivo* bajo condiciones ambientales controladas (cámara de crecimiento), esto con el fin de describir el efecto directo de las PGPRs sobre el crecimiento de las plantas, sin el control de factores ambientales sujetos a las pruebas experimentales. De igual manera, se excluyeron los artículos que no clasificaran de manera taxonómica los microorganismos evaluados mediante técnicas moleculares, y estudios que evaluaran microorganismos genéticamente modificados, de forma que se sistematizara las publicaciones sobre PGPR en condiciones naturales y experimentalmente reproducibles.

Inclusión: se incluyeron artículos originales de investigación reportados en la literatura científica comprendidos en los años 1990-2018 extrayendo las variables de título, autores, año, país, mecanismo de las PGPR, tipo de planta y sus parámetros de crecimiento, así como el microorganismo evaluado. Se extrajeron los datos de cada publicación y se

tabularon en un archivo plano estandarizado en Excel.

Reproducibilidad de la revisión sistemática: la evaluación de la reproducibilidad del estudio se llevó a cabo mediante la implementación de todo el proceso de búsqueda y selección de artículos, así como la recopilación de información, por dos revisores independientes, y el desacuerdo se resolvió por consenso o verificación por un tercero.

Análisis de la información: con las variables del estudio, se realizó una síntesis cualitativa de la información mediante frecuencias absolutas (n) y relativas (%), así como por intervalos de confianza del 95% para las proporciones mediante el estadístico $P \pm \{Z_{\alpha/2} * [\sqrt{(PQ/n)}]\}$, donde P es la proporción, $Z_{\alpha/2}$ el nivel de confianza (del 95%), Q es el complemento de P y n el número de datos analizados (o la frecuencia absoluta). Para describir la distribución de los estudios según el país de origen, se realizó un mapa empleando la plataforma *MapChart Create Custom Map*, y tomando tres rangos, el primero incluyó los países con 1-10 artículos, el segundo era para países con 11-20 estudios y el tercero abarca los países con más de 20 manuscritos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de los artículos incluidos

Se identificaron 2,525 artículos de investigación de los cuales se tamizaron con lectura de títulos y resumen 1,570, de estos solo 160 cumplieron con el protocolo de esta revisión (Figura 1).

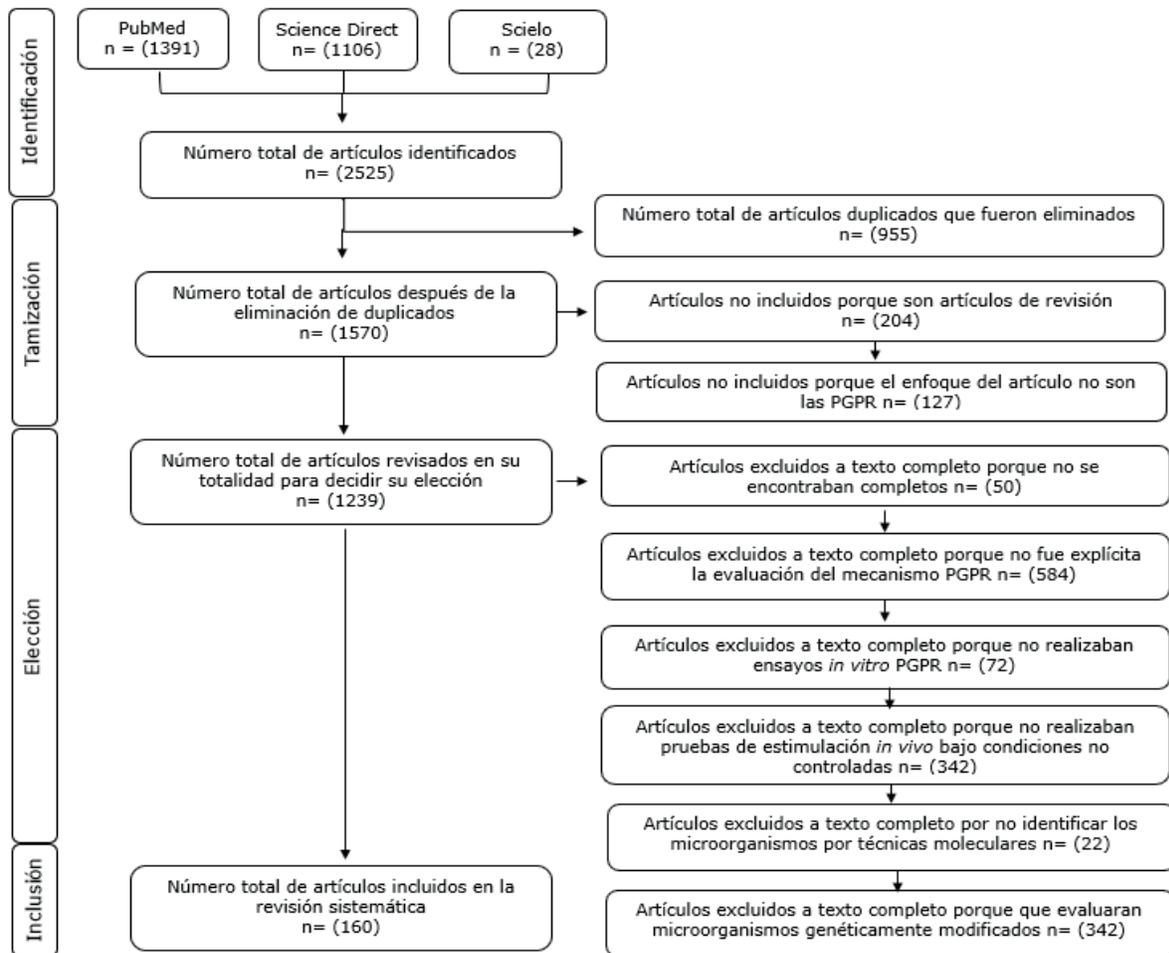


Figura 1. Flujograma de búsqueda y selección de los estudios incluidos en esta revisión acorde con las cuatro fases de la guía PRISMA.

Fuente: Autores.

De los 160 estudios (ver Anexo), el 74.4% (n=119) corresponde a investigaciones realizadas en Asia; 18.1% (n=29) en América; 5.6% (n=9) en Europa; y 1.9% (n=3) en África, siendo India (n=58), China (n=18) y Corea del sur (n=15) los países con el mayor número de investigaciones (Figura 2).

Lo anterior evidenció que la mayoría de estudios proceden de Asia, principalmente de la India, esto podría relacionarse de manera indirecta con el hecho de que este país, sumado a Estados Unidos, son potencias agrícolas mundiales. Aunque el país asiático presenta mayor investigación en agroecología, al tiempo que se encuentra entre los principales productores de varios cultivos, contando con la mayor

área cultivada de trigo, arroz y algodón; además, es el segundo mayor productor de arroz, trigo, algodón, caña de azúcar, frutas, verduras y té (World Bank, 2012; Deshpande, 2017). También se debe destacar que el arroz es el principal cultivo alimentario no solo en India sino también en el mundo, resaltando además que el 90% del arroz mundial se produce en Asia y según estadísticas de Agriculture Market Information System (AMIS) en el 2018, India produjo 115.63 millones de toneladas de arroz. Por lo anterior, es plausible afirmar que en este país se hace una búsqueda de nuevas técnicas agrícolas amigables con el ambiente que generen a su vez un incremento en el rendimiento de los cultivos. Esto se evidenció en el estudio de Wezel y Soldat (2009), donde demostraron

Como resultado de la revisión, se identificaron 63 géneros microbianos diferentes, los más estudiados fueron *Bacillus* en el 43.1% (IC95%=35.1-51.1) de los estudios, *Pseudomonas* en el 41.5% (IC95%=33.3-49.2) y *Enterobacter* en el 10.6% (IC95%=5.5-15.7), en la tabla 1 aparecen los demás géneros identificados en la revisión. Además, los siguientes géneros fueron analizados con una frecuencia de 0.6% (n=1 estudio): *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Citrobacter*, *Comamonas*, *Ensifer*, *Enterococcus*, *Exiguobacterium*, *Fictibacillus*, *Gluconacetobacter*, *Gordonia*, *Hartmannibacter*, *Lysinibacillus*, *Lysobacter*, *Mesorhizobium*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Phosphorobacillus*, *Planococcus*, *Promicromonospora*, *Providencia*, *Rhodobacter*, *Rhodococcus*, *Rhodopseudomonas*, *Shewanella*, *Sphingobacterium*, *Sporosarcina*, *Streptomyces*, *Tetrathlobacter*, *Trabulsiella*, *Variovorax*, *Virgibacillus* y *Viridibacillus*. A continuación, se explicitan algunas características importantes de los tres géneros más estudiados en PGPR.

En particular, *Pseudomonas* es un género con capacidad biocontroladora, responsable de la supresión natural de algunos patógenos transmitidos por el suelo, estimulador del crecimiento de las plantas y solubilizador de minerales; además, presenta una alta tasa de crecimiento en condiciones *in vitro*, lo cual facilita su producción en masa (Howell y Stipanovic, 1979; Kraus y Loper, 1992; Oteino *et al.*, 2015). Cabe resaltar que Howell y Stipanovic (1980) y Ramamoorthy *et al.* (2010) pudieron evidenciar que las *Pseudomonas fluorescens* producen un amplio espectro de metabolitos bioactivos; es decir, antibióticos, sideróforos, volátiles y sustancias promotoras del crecimiento vegetal, permitiéndole una mejor adaptación al estrés ambiental. Lo anterior podría explicar el gran interés como objeto de estudio en diversas investigaciones.

Así mismo, el género *Bacillus* ha sido ampliamente estudiado por su capacidad para formar endosporas, lo que le confiere resistencia ante condiciones ambientales adversas. Además, posee un gran potencial para estimular el crecimiento vegetal por medio de la sín-

giberalinas, entre otras), la solubilización de fosfato, y la producción de diferentes metabolitos con actividad antagónica, tales como los lipopéptidos tipo fenginicina y surfactina, que estimulan la resistencia sistémica inducida, e inician la respuesta inmune en las plantas (Glickmann y Dessaux, 1995; Pliego *et al.*, 2011; Xie *et al.*, 2017). Dadas las particularidades metabólicas del género *Bacillus* y su habilidad para formar endosporas, estas bacterias se presentan como una alternativa altamente promisoría para la formulación de productos biotecnológicos de uso agrícola (Bowen y Rovira, 1999).

Otro género destacable durante la revisión fue *Enterobacter*, el cual tiene la capacidad de conferir resistencia al estrés salino, ya que posee genes que regulan la homeostasis iónica, facilitando la adaptación de las plantas en condiciones de alta salinidad (Padan, 2008; Sandhya *et al.*, 2010). Las *Enterobacter* spp. tienen la habilidad de producir fitohormonas (citoquininas, AIA, entre otras), inhibir el crecimiento de fitopatógenos y de solubilizar fosfato, lo cual se ha documentado en diferentes estudios (Mehnaz *et al.*, 2001; Hynes *et al.*, 2008; Oteino *et al.*, 2015). A pesar de las características PGPR dadas por las *Enterobacter*, se encontró que, en comparación con *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* spp., fue el género menos reportado en las publicaciones, lo cual se puede deber a que es un género relacionado con infecciones oportunistas de gran importancia clínica, lo cual limita su uso como PGPR (Chart, 2012; Dijun *et al.*, 2016).

Tabla 1. Distribución porcentual de los géneros microbianos de PGPR estudiados en las publicaciones encontradas en la revisión sistemática.

Género	n	%	IC 95%
<i>Bacillus</i>	69	43.1	35.1-51.1
<i>Pseudomonas</i>	66	41.3	33.3-49.2
<i>Enterobacter</i>	17	10.6	5.5-15.7
<i>Paenibacillus</i>	16	10.0	5.0-15.0
<i>Azotobacter</i>	12	7.5	3.1-12.0
<i>Burkholderia</i>	12	7.5	3.1-12.0
<i>Serratia</i>	12	7.5	3.1-12.0
<i>Azospirillum</i>	8	5.0	1.3-8.7
<i>Ochromobactrum</i>	6	3.8	0.5-7.0
<i>Klebsiella</i>	5	3.1	1.0-7.1
<i>Pantoea</i>	5	3.1	1.0-7.1
<i>Stenotrophomonas</i>	5	3.1	1.0-7.1
<i>Achromobacter</i>	4	2.5	0.7-6.3
<i>Acinetobacter</i>	4	2.5	0.7-6.3
<i>Brevibacillus</i>	3	1.9	0.4-5.4
<i>Novosphingobium</i>	3	1.9	0.4-5.4
<i>Rhizobium</i>	3	1.9	0.4-5.4
<i>Aeromonas</i>	2	1.3	0.2-4.4
<i>Alcaligenes</i>	2	1.3	0.2-4.4
<i>Aneurinibacillus</i>	2	1.3	0.2-4.4
<i>Cellulosinmicrobium</i>	2	1.3	0.2-4.4
<i>Chryseobacterium</i>	2	1.3	0.2-4.4
<i>Delftia</i>	2	1.3	0.2-4.4
<i>Erwinia</i>	2	1.3	0.2-4.4
<i>Flavobacterium</i>	2	1.3	0.2-4.4
<i>Herbaspirillum</i>	2	1.3	0.2-4.4
<i>Sphingomonas</i>	2	1.3	0.2-4.4
<i>Staphylococcus</i>	2	1.3	0.2-4.4

Fuente: Autores.

Mecanismos de PGPR en los estudios incluidos

En total, se identificaron 22 mecanismos PGPR diferentes, siendo AIA (ácido indolacético), solubilización de fosfato, antagonismo y producción de sideróforos los de mayor frecuencia (Tabla 2). Esta evidencia se puede deber a que son mecanismos PGPR que hacen relación tanto a la estimulación del crecimiento como a la actividad biocontroladora, haciendo alusión a la producción de fitohormonas, solubilización de nutrientes e inhibición de fitopatógenos, lo que deriva en efectos benéficos para el desarrollo de las plantas (Glick y Bashan, 1997; Van Loon *et al.*, 1998; Whipps, 2001; Zahir *et al.*, 2003). El AIA, es una de las auxinas más estudiadas dado que produce un incremento en el crecimiento vegetal, además está involucrada en la diferenciación y en la elongación del tallo (Arshad y Frankenberger, 2016). Por otra parte, la solubilización de minerales como el hierro y fosfatos son comúnmente asociados con las PGPR, debido a que facilitan la disponibilidad de estos nutrientes en el suelo y aumentan la productividad de las plantas.

Con respecto a la captación de hierro, esta actividad se encuentra relacionada con el uso de sideróforos bacterianos por las plantas, mientras que la disponibilidad de fosfato está relacionada con la producción de enzimas del grupo de las fosfatasas, lo cual permite un incremento significativo en la toma de este macronutriente, importante para los procesos metabólicos de las plantas (Van Loon *et al.*, 1998; Bakker *et al.*, 2003; Guang-Can *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2015). Aunque se ha demostrado que diferentes géneros bacterianos

presentan este rasgo, la mayor parte de los reportes corresponden a *Pseudomonas* y *Bacillus* (Bowen y Rovira, 1999; Zahir *et al.*, 2003).

La capacidad antagónica resulta ser un mecanismo crucial para la defensa de las plantas, ya que permite la inhibición de microorganismos causantes de diversas enfermedades (Glick y Bashan, 1997; Whipps, 2001); además, la evaluación experimental de los mecanismos mencionados con anterioridad, no involucran una alta complejidad a nivel de laboratorio, ni representa un alto costo económico, ya que se emplean metodologías de fácil ejecución (Uzoh *et al.*, 2018).

Especies vegetales en las que se ha estudiado de efecto de las PGPR

Dichos mecanismos se evaluaron en 58 especies vegetales diferentes, con mayor frecuencia en maíz, tomate, trigo y arroz (Tabla 3). Además, las siguientes especies se estudiaron en una frecuencia de 0.6% (n=1) estudios: cañuela, agropiro, alfalfa, lavanda, amapola, arveja, batata, banano, bufera, mungo, calabaza, castor (ricino), cebada, ciruelo, coco, eucalipto, encina, jengibre, kikuyu, kiwi, almorta lolium, mango, manzano, margaritas, nabo, sorgo, papa, palma de aceite, tulsí, trebol rojo y timothy. Es posible que se realice con mayor frecuencia esta evaluación en los estudios de las especies maíz, tomate, trigo y arroz, debido a su rápido crecimiento, que permite evaluar el efecto de las PGPR's en las diferentes etapas del crecimiento vegetal. Además, cabe resaltar que son cultivos de gran importancia a nivel mundial, debido a la alta demanda alimentaria (Deshpande, 2017; Agricultural Market Information System (AMIS) 2018).

Tabla 2. Distribución de frecuencias de los mecanismos PGPR identificados en los estudios descritos en la revisión sistemática.

Mecanismos PGPR	n	%	IC95%
Ácido indolacético (AIA)	107	66.9	59.3-74.5
Solubilización de fosfato	97	60.6	52.7-68.5
Antagonismo	63	39.4	31.5-47.3
Producción de sideróforos	58	36.3	28.5-44.0
Ácido 1-Aminociclopropano-1 carboxílico (ACC)	46	28.8	21.4-36.1
Ácido cianhídrico (HCN)	35	21.9	15.2-28.6
Fijación de nitrógeno	27	16.9	10.8-23.0
Amoniaco	12	7.5	3.1-12.0
Control biológico	8	5.0	1.3-8.7
Solubilización de zinc	6	3.8	0.5-7.0
Amonio	5	3.1	1.0-7.1
Solubilización de potasio	5	3.1	1.0-7.1
Ácido giberélico	3	1.9	0.4-5.4
Inducción de resistencia sistémica (IRS)	3	1.9	0.4-5.4
Nitrogenasa	3	1.9	0.4-5.4
Ácido salicílico	2	1.3	0.2-4.4
Ácidos orgánicos	2	1.3	0.2-4.4
Gibberalinas	2	1.3	0.2-4.4
ATB (antibióticos)	1	0.6	0.0-3.4
Solubilización de silicio	1	0.6	0.0-3.4
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	1	0.6	0.0-3.4

Fuente: Autores.

Tabla 3. Frecuencia de las especies vegetales en las que se ha estudiado de efecto de las PGPR.

Planta estudiada	n	%	IC95%
Maíz	24	15 0	9 2-20 8
Tomate	24	15 0	9 2-20 8
Trigo	13	8 1	3 6-12 7
Arroz	12	7 5	3 1-11 9
Soja	9	5 6	1 7-9 5
Frijol	8	5 0	1 3-8 7
Garbanzo	5	3 1	1 0-7 1
Canola	5	3 1	1 0-7 1
Chile	5	3 1	1 0-7 1
Pepino	5	3 1	1 0-7 1
Pimienta	5	3 1	1 0-7 1
Maní	4	2 5	0 7-6 3
Caña de azúcar	3	1 9	0 4-5 4
Lechuga	3	1 9	0 4-5 4
Mostaza	3	1 9	0 4-5 4
Algodón	2	1 3	0 2-4 4
Berenjena	2	1 3	0 2-4 4
Chicharo salvaje	2	1 3	0 2-4 4
Col	2	1 3	0 2-4 4
Cúrcuma	2	1 3	0 2-4 4
Fenogreco	2	1 3	0 2-4 4
Guisante	2	1 3	0 2-4 4
Remolacha	2	1 3	0 2-4 4
Salvia	2	1 3	0 2-4 4
Sésamo	2	1 3	0 2-4 4
Té	2	1 3	0 2-4 4

Fuente: Autores.

Variables de crecimiento de las plantas usadas en los estudios que demuestran el efecto de las PGPR

Finalmente, en la tabla 4 se presentan las medidas para el evaluar el efecto de las PGPR sobre diferentes componentes de las plantas utilizadas en los estudios, a dichas medidas de eficacia se suman las siguientes, estudiadas

con una frecuencia de un (1) estudio: diámetro del brote, diámetro del estoma, diámetro de la raíz, índice de cosecha, longitud del fruto, número de flores, peso de tuzas de mazorcas, peso fresco de 100 vainas, peso fresco total de raíz y brote, peso seco total de raíz y brote, porcentaje de aumento de la raíz, porcentaje de aumento del brote, porcentaje de aumento

sobre el control, rendimiento foliar, rendimiento por hectárea y tiempo de emergencia.

Además, como se mencionó en el protocolo de búsqueda, se incluyeron artículos en donde se especifica que las condiciones ambientales

de las pruebas in vivo no fueron controladas; encontrando que de un total 160 estudios, 71.25% fueron realizados en invernadero, 17.5% en campo, 10.62% incluyeron pruebas en campo e invernadero y un 0.62% no especifican el sitio de experimento.

Tabla 4. Variables de crecimiento de las plantas usadas en los estudios que demuestran el efecto de las PGPR

Variable de respuesta de las plantas	n	%	IC95%
Peso seco de la raíz	70	43.8	35.8-51.7
Longitud de raíz	63	39.4	31.5-47.3
Longitud del brote	63	39.4	31.5-47.3
Peso seco del brote	58	36.3	28.5-44.0
Altura de la planta	48	30.0	22.6-37.4
Peso seco de la planta	43	26.9	19.7-34.1
Peso fresco de la raíz	38	23.8	16.8-30.7
Peso fresco de la planta	33	20.6	14.0-27.2
Peso fresco del brote	28	17.5	11.3-23.7
Rendimiento semilla/vaina/paja	27	16.9	10.8-23.0
Área foliar	15	9.4	4.5-14.2
Número de hojas	14	8.8	4.1-13.4
Diámetro del vástago	12	7.5	3.1-11.9
Porcentaje de germinación	11	6.9	2.6-11.1
Número de raíces principales/laterales	10	6.3	2.2-10.3
Peso del fruto	9	5.6	1.7-9.5
Número de semillas	8	5.0	1.3-8.7
Índice de vigor	7	4.4	0.9-7.9
Número de nódulos	7	4.4	0.9-7.9
Longitud del vástago	6	3.8	0.5-7.0
Número de frutos	6	3.8	0.5-7.0
Número de vainas	6	3.8	0.5-7.0
Peso fresco de hojas	6	3.8	0.5-7.0
Peso fresco del vástago	6	3.8	0.5-7.0
Peso seco del vástago	6	3.8	0.5-7.0
Número de ramas por planta	5	3.1	1.0-7.1
Número de sierpes	5	3.1	1.0-7.1
Peso de 1000 semillas	5	3.1	1.0-7.1
Producción de fruto/semilla	5	3.1	1.0-7.1

Variable de respuesta de las plantas	n	%	IC95%
Peso de las semillas	4	2 5	0 7-6 3
Peso de vainas	4	2 5	0 7-6 3
Porcentaje de incremento/raíz/brote/hoja/vaina	4	2 5	0 7-6 3
Rendimiento del fruto	4	2 5	0 7-6 3
Área de la raíz	3	1 9	0 4-5 4
Longitud del brote + raíz	3	1 9	0 4-5 4
Peso de 100 semillas	3	1 9	0 4-5 4
Peso seco de nódulos	3	1 9	0 4-5 4
Rendimiento total de la planta	3	1 9	0 4-5 4
Ancho de la hoja	2	1 3	0 2-4 4
Biomasa del rizoma	2	1 3	0 2-4 4
Diámetro de la mazorca	2	1 3	0 2-4 4
Diámetro del cuello	2	1 3	0 2-4 4
Longitud de la panícula	2	1 3	0 2-4 4
Longitud total de la planta	2	1 3	0 2-4 4
Longitud de las hojas	2	1 3	0 2-4 4
Número de brotes por planta	2	1 3	0 2-4 4
Número de macollas	2	1 3	0 2-4 4
Número de panículas	2	1 3	0 2-4 4
Peso seco de hojas	2	1 3	0 2-4 4
Porcentaje de aumento del rendimiento	2	1 3	0 2-4 4
Porcentaje de llenado de vainas	2	1 3	0 2-4 4
Relación brote/raíz	2	1 3	0 2-4 4
Rendimiento de la raíz/rizoma	2	1 3	0 2-4 4

Fuente: Autores

En el último año se ha aumentado el número de publicaciones en este tema, destacándose el estudio de Amaresan *et al.* (2019) donde evaluaron la capacidad de bacterias asociadas a las plantas de tomate para reducir la incidencia de diferentes enfermedades y determinaron sus efectos sobre el rendimiento en condiciones naturales de campo. En su estudio, Dede *et al.* (2020) evaluaron la actividad antagónica de actinomicetos aislados de la rizosfera del olivo y su efecto promotor de crecimiento con la finalidad de ser utilizados como biofertilizantes en

futuros estudios. La investigación de Andy *et al.* (2020) giró en torno al aislamiento y caracterización de diferentes PGPR de la zona de la raíz de diferentes leguminosas que en el futuro podría resultar como un biofertilizante revolucionario y bioinoculantes.

Recomendaciones para estudios posteriores

Vale la pena señalar que aún se deben realizar investigaciones más exhaustivas que ayuden a la comprensión de los mecanismos de fitoestimulación mediada por las PGPR, que tengan como objetivo detectar cepas de rizobacterias

más competentes que puedan funcionar en diversas condiciones agroecológicas; esto podría garantizar la estabilidad de las PGPR en la productividad agrícola. Específicamente en los hallazgos obtenidos en esta revisión sistematizada se podrían evaluar en futuros estudios que realicen pruebas de estimulación en campo, determinando la efectividad de las PGPR no solo a nivel de laboratorio sino a gran escala. Además de la evaluación de consorcios de microorganismos efectivos que posteriormente puedan ser utilizados en el desarrollo de formulaciones microbianas, permitiendo de esta manera diseñar y obtener productos agrícolas eficientes, conduciendo como fin último a una agricultura sostenible.

4. CONCLUSIONES

En el ámbito mundial, India es el país con más publicaciones sobre PGPR, debido a que es considerado como una potencia agrícola mundial; además de su gran interés por desarrollar biotecnologías en el marco de una agricultura sostenible. Se sintetizó la principal evidencia de los mecanismos PGPR en el ámbito mundial, siendo AIA, solubilización de fosfato, antagonismo y producción de sideróforos los de mayor frecuencia, y abarcan mecanismos directos e indirectos de la forma en que las rizobacterias pueden promover el crecimiento de las plantas. Los microorganismos más estudiados fueron *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Enterobacter*, ya que estos poseen rasgos PGPR efectivos como capacidad biocontroladora, solubilización de minerales, síntesis de fitohormonas y capacidad de conferir resistencia al estrés salino, como es el caso del género *Enterobacter*. Finalmente, las especies vegetales más frecuentemente estudiadas fueron maíz, tomate, trigo y arroz, cultivos de gran importancia alimentaria. En conjunto, estos hallazgos son relevantes para identificar las principales líneas de acción en futuras investigaciones cuyo propósito sea a mejorar la salud, producción de cultivos y sostenibilidad ambiental.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura – borrador original. **Segundo autor:** metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura – borrador original. **Tercer autor:** revisión y edición. **Cuarto autor:** conceptualización, investigación, logística, escritura – revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A los grupos de investigación, Salud y Sostenibilidad y Microbiología Veterinaria de la Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia.

LITERATURA CITADA

- AMIS Agricultural Market Information System. (2018). Amis-Outlook.org. <https://app.amis-outlook.org/#/market-database/supply-and-demand-overview>
- Amaresan, N., Jayakumar, V., Kumar, K., y Thajuddin, N. (2019). Biocontrol and plant growth-promoting ability of plant-associated bacteria from tomato (*Lycopersicon esculentum*) under field condition. *Microbial Pathogenesis*, 136, 103713 <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103713>
- Andy, A., Masih, S. y Gour, V. (2020). Isolation, screening and characterization of plant growth promoting rhizobacteria from rhizospheric soils of selected pulses. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101685>
- Arshad, M., y Frankenberger, W.T. (1998). Plant-Growth-Regulating Substances in the Rhizosphere: Microbial Production and Functions. *Advances in Agronomy*, 62, 45-151. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60567-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60567-2)
- Braga, L.F., Oliveira, F.A., Couto, E.A., Santos, K.F., Ferreira, E.P., y Martin-Didonet, C.C. (2018). Polyphasic characterization of bacteria obtained from upland rice cultivated in Cerrado soil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.04.004>
- Bakker, P.A.H.M., Ran, L.X., Pieterse, C.M.J., y Van Loon, L.C. (2003). Understanding the involvement of rhizobacteria-mediated induction of systemic resistance in biocontrol of plant diseases.

- Canadian Journal of Plant Pathology*, 25, 5-9. <https://doi.org/10.1080/07060660309507043>
- Bowen, G.D., y Rovira, A. D. (1999). The Rhizosphere and Its Management to Improve Plant Growth. *Advances in Agronomy*, 66, 1-102. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60425-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60425-3)
- Chart, H. (2012). Klebsiella, Enterobacter, Proteus and other enterobacteria: Pneumonia, urinary, tract infection; opportunist infection. *Medical Microbiology*, 8, 290-297. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-4089-4.00042-1>
- Centro Cochrane Iberoamericano. (2012). *Manual cochrane de revisiones sistemáticas de intervenciones*. <http://www.cochrane.es/?q=es/node/269>
- Dede, A., Güven K., y Şahi N.N. (2020), Isolation, plant growth-promoting traits, antagonistic effects on clinical y plant pathogenic organisms and identification of actinomycetes from olive rhizosphere. *Microbial Pathogenesis*, 143,104-134. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104134>
- De Gregorio, P. R., Michavila, G., Ricciardi Muller, L., de Souza Borges, C., Pomares, M. F., Saccol de Sá, E. L., Pereira, C., y Vincent, P. A. (2017). Beneficial rhizobacteria immobilized in nanofibers for potential application as soybean seed bioinoculants. *PLOS ONE*, 12(5), e0176930. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176930>
- Deshpande, T. (2017). State of Agriculture. PRS Legislative Research. <https://prsindia.org/policy/analytical-reports/state-agriculture-india>
- Dijun, Z., Weina, H., Qianqian, T., Jun, Z., y Xiu-rong, S. (2016). Multi-omics analysis in the pathogenicity of *Enterobacter cloacae* ENHKU01 isolated from swage outfalls along the Ningbo coastline. *Proteome Science* 14, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12953-016-0104-y>
- Etesami, H., y Maheshwari, D.K. (2018). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 156, 225-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>
- Glick, B.R., y Bashan, Y. (1997). Genetic manipulation of plant growth-promoting bacteria to enhance biocontrol of phytopathogens. *Biotechnology Advances*, 15, 353-378. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(97\)00004-9](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(97)00004-9)
- Glickmann, E., y Y., Dessaux. (1995). A Critical Examination of the Specificity of the Salkowski Reagent for Indolic Compounds Produced by Phytopathogenic Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 61, 793-96. <https://doi.org/10.1128/AEM.61.2.793-796.1995>
- Guang-Can, T., Shu-Jun, T., Miao-Ying, C., y Guang-Hui, X. (2008). Phosphate-Solubilizing and -Mineralizing Abilities of Bacteria Isolated from Soils. *Pedosphere*, 18(4), 515-523. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(08\)60042-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(08)60042-9)
- Howell, C., y Stipanovic, R. (1979). Control of *Rhizoctonia solani* on cotton seedlings with *Pseudomonas fluorescens* and with an antibiotic produced by the bacterium. *Phytopathology*, 69, 480-482. <https://doi.org/10.1094/Phyto-69-480>
- Howell, C., y Stipanovic, R. (1980). Suppression of *Pythium ultimum* induced damping off of cotton seedlings by *Pseudomonas fluorescens* and its antibiotic pyoluterin. *Phytopathology*, 70,712-715. <https://doi.org/10.1094/Phyto-70-712>
- Hynes, R.K., Leung, G.C., Hirkala, D.L., y Nelson, L.M. (2008). Isolation, selection, and characterization of beneficial rhizobacteria from pea, lentil, and chickpea grown in western Canada. *Canadian Journal Microbiology*, 54(4), 248-258. <https://doi.org/10.1139/W08-008>
- Jewell, M.C., Campbell, B.C., y Godwin, I.D. (2010). Transgenic Plants for Abiotic Stress Resistance. *Transgenic Crop Plants*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04812-8_2
- Karthiba, L., Saveetha, K., Suresh, S., Raguchander, T., Saravanakumar, D., y Samiyappan, R. (2010). PGPR and entomopathogenic fungus bioformulation for the synchronous management of leafhopper pest and sheath blight disease of rice. *Pest Management Science*, 66(5), 555-564. <https://doi.org/10.1002/ps.1907>
- Kloepper, J.W. (1993). Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents. *Soil Microbial Ecology: Applications in agricultural and environmental Management*. Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents (Metting, F.B., Jr. Ed., pp. 255-274). *Marcel Dekker, Inc.*
- Kraus, J., y Loper, J. (1992). Lack of evidence for a role of antifungal metabolite production by *Pseudomonas fluorescens* Pf-5 in biological control of *Pythium* damping-off of cucumber. *Molecular Plant Pathology*, 82(3), 264-271. <https://doi.org/10.1094/Phyto-82-264>

- Lavakush, Yadav, J., Verma, J. P., Jaiswal, D. K., y Kumar, A. (2014). Evaluation of PGPR and different concentration of phosphorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa*). *Ecological Engineering*, 62, 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.013>
- Liu, Z., Li, Y. C., Zhang, S., Fu, Y., Fan, X., Patel, J. S., y Zhang, M. (2015). Characterization of phosphate-solubilizing bacteria isolated from calcareous soils. *Applied Soil Ecology* 96, 217-224. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.003>
- Martínez, L.L, Martínez Peniche, R.A., Hernández Iturriaga, M., Arvizu Medrano, S.M., y Pacheco Aguilar, J.R. (2013). Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Revista fitotecnica mexicana*, 36(1), 63-69. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000100007&lng=es&tlng=es
- Mahmood, S., Daur, I., Al-Solaimani, S.G., Ahmad, S., Madkour, M.H., Yasir, M., Hirt, H., Ali, S., y Ali, Z. (2016). Plant growth promoting rhizobacteria and silicon synergistically enhance salinity tolerance of mung bean. *Frontiers in Plant Science*, 7, 876. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00876>
- Mehnaz, S., Mirza, M.S., Haurat, J., Bally, R., Normand, P., Bano, A., y Malik, K.A. (2001). Isolation and 16S rRNA sequence analysis of the beneficial bacteria from the rhizosphere of rice. *Canadian Journal of Microbiology*, 47(2), 110-117. <https://doi.org/10.1139/w00-132>
- Mhatre, P. H., Karthik, C., Kadirvelu, K., Divya, K. L., Venkatasalam, E. P., Srinivasan, S., Ramkumar, G., Saranya, C., y Shanmuganathan, R. (2018). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): A potential alternative tool for Nematodes biocontrol. *International Society of Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.11.009>
- Morgado González, A., Espinosa Victoria, D., y Gómez Merino, F.C. (2015). Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in sugarcane. *Terra Latinoamericana*, 33(4), 321-330. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000400321&lng=es&tlng=
- Mukhtar, S., Shahid, I., Mehnaz, S., y Malik, K. (2017). Assessment of two carrier materials for phosphate solubilizing biofertilizers and their effect on growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Microbiological Research*, 205, 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.011>
- Oteino, N., Lally, R.D., Kiwanuka, S., Lloyd, A., Ryan, D., Germaine, K.J., y Dowling, D.N. (2015). Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers in Microbiology*, 6, 745-754. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745>
- Padan, E. (2008). The enlightening encounter between structure and function in the NhaA Na⁺-H⁺ antiporter. *Trends in Biochemical Sciences*, 33(9), 435-443. <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2008.06.007>
- Pérez-Pazos, J.V y Sánchez-López, D.B. (2017). Caracterización y efecto de *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Pseudomonas* asociadas a Ipomoea Batatas del Caribe Colombiano. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(2), 35-46. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n2.69471>
- Pliego, C., Lugtenberg, B., y Kamilova, F. (2011). Plant Growth-Promoting Bacteria: Bacteria: Fundamentals and Exploitation en D.K. Maheswari (Ed). *Bacteria in Agrobiolgy: Crop Ecosystems* (pp. 295-344). Springer.
- Posada, L., Ramírez, M., Ochoa-Gómez, N., Cuellar-Gaviria, T.Z., Argel-Roldan, L.E., Ramírez, C., y Villegas-Escobar, V. (2016). Bioprospecting of aerobic endospore-forming bacteria with biotechnological potential for growth promotion of banana plants. *Scientia Horticulturae*, 212, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.040>
- Ramamoorthy, V., Viswanathan, R., Raguchander, T., Prakasam, V., y Samiyappan, R. (2001). Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. *Crop Protection*, 20(1), 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00056-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00056-9)
- Rizvi, A., y Khan, M.S., (2018). Heavy metal induced oxidative damage and root morphology alterations of maize (*Zea mays* L.) plants and stress mitigation by metal tolerant nitrogen fixing *Azotobacter chroococcum*. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 157, 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.063>
- Sandhya, V., Ali, S.Z., Grover, M., Reddy, G., y Venkateswarlu, B. (2010). Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 62(1), 21-30. <https://doi.org/10.1007/s10725-010-9479-4>

- Schroth, M.N. y Becker, J.O. (1990). Biological control of soil-borne plant pathogens [Presentación en papel, pp. 389-414]. 5th Internacional Congress of Plant Pathology, Kyoto, Japan.
- Urrutia, G., y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511.
- Uzoh, I. M., y Babalola, O.O. (2018). Rhizosphere biodiversity as a premise for application in bio-economy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265, 524-534. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.003>
- Van Loon, L.C, Baker, P.A.H.M., y Pieterse, C.M.J. (1998). Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, 36(1), 453-483. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.453>
- Wezel, A., y Soldat, V. (2009). A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7, 3-18. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0400>
- Whipps, J.M. (2001). Microbial interactions and bio-control in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 52, 487-511. https://doi.org/10.1093/jexbot/52.suppl_1.487
- World Bank. (2012). *India: Issues and Priorities for Agriculture*. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2012/05/17/india-agriculture-issues-priorities>
- Xiang, N., Lawrence, K.S., Kloepper, J.W., Donald, P.A., y McInroy, J.A. (2017). Biological control of Heterodera glycines by spore-forming plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on soybean. *PLoS ONE*, 12(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181201>
- Xie, Y., Wu, L., Zhu, B., Wu, H., Gu, Q., Rajer, F.U., y Gao, X. (2017). Digital gene expression profiling of the pathogen-resistance mechanism of *Oryza sativa* 9311 in response to *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 induction. *Biological Control*, 110, 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.04.009>
- Zahir, Z., Arshad, M., y Frankenberger, W.T. (2003). Plant growth-promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*, 81, 97-168. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)81003-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(03)81003-9)

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.