

# MICROORGANISMOS RIZOSFÉRICOS CON POTENCIALIDADES COMO BIOESTIMULADORES Y BIOFERTILIZANTES. IMPORTANCIA DEL GÉNERO *Bacillus*

MSc. Yunel Pérez Hernández<sup>1</sup>, Dr. C. Ana Julia Rondón Castillo<sup>2</sup>, Dr. C. Leticia Fuentes Alfonso<sup>3</sup>

1. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. [yunel.perez@umcc.cu](mailto:yunel.perez@umcc.cu)

## Resumen

El uso extensivo de agroquímicos compromete las producciones agrícolas sostenibles y el medioambiente. Entre las estrategias para reducir el uso de estos compuestos están los productos a base de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (RPCV). Estos microorganismos promueven el crecimiento de las plantas a través de diferentes mecanismos como la producción de reguladores del crecimiento (auxinas, giberelinas y citoquininas), la solubilización de fosfatos y otros minerales y la producción de sideróforos que permiten la solubilización del hierro insoluble. El presente trabajo tiene como objetivo valorar la importancia de las RPCV para el desarrollo de la agricultura, a partir de los mecanismos bioquímicos que presentan; en especial el género *Bacillus* que constituye uno de los grupos más estudiados con este propósito.

**Palabras claves:** Agroecología, Auxinas, *Bacillus*, Fosfatos.

---

## Introducción

El aumento de la población mundial en los últimos años impulsó las producciones agrícolas, en función de satisfacer las demandas de alimentos (Hassen *et al.*, 2016). Para mantener niveles productivos altos se utilizan cantidades elevadas de fertilizantes y pesticidas químicos, los cuales contaminan el ambiente y afectan el equilibrio ecológico de los agroecosistemas. Por estas razones, es necesario reducir el uso de estos agroquímicos pero con el menor impacto en la productividad de los cultivos (Stamenković *et al.*, 2018).

Existen varias alternativas para reducir el uso de los fertilizantes químicos en los sistemas agrícolas. Por ejemplo, se pueden combinar técnicas como la rotación de cultivos y el manejo integrado de plagas para incrementar la productividad y la rentabilidad de los cultivos. Otra estrategia que se investiga actualmente es el uso de bioproductos a base de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (RPCV), los cuales tienen distintas funciones como la fertilización, la promoción del crecimiento de las plantas y el biocontrol de fitopatógenos, de una manera ecológicamente sostenible (Hassen *et al.*, 2016).

Los mecanismos básicos de las RPCV permiten incrementar la absorción de nutrientes, la fijación de nitrógeno, la solubilización de fosfatos y otros minerales y enfrentar el ataque de organismos fitopatógenos. Esto es posible debido a la producción de una gran variedad de metabolitos secundarios y enzimas como fitohormonas, sideróforos, antibióticos y enzimas hidrolíticas (Singh, 2018).

Los microorganismos estimuladores del crecimiento vegetal presentes en ecosistemas terrestres, además de las funciones como bioestimuladores, biofertilizantes y biocontroladores; pueden producir una gran variedad de metabolitos y enzimas con diversas aplicaciones industriales. Tal es el caso de las enzimas amilasas y celulasas, que se utilizan comúnmente en diferentes procesos como la fabricación de alimentos, bebidas, alcohol, detergentes y en la industria textil (Singh *et al.*, 2016). Entre los diferentes grupos de RPCV, el género *Bacillus* spp. constituye una fuente importante de cepas con características promisorias, para el desarrollo de productos agropecuarios que permitan incrementar los rendimientos agrícolas (Hauka *et al.*, 2016; Thakur *et al.*, 2017).

La actualización del modelo económico cubano exige la búsqueda urgente de eficiencia en el proceso de sustitución de importaciones, en especial de los alimentos básicos y otros componentes industriales, que pueden ser producidos en el territorio nacional, lo cual permite liberar la capacidad importadora para otros recursos que no se puedan producir internamente y garantizar un desarrollo local próspero, justo y sostenible.

El presente trabajo tiene como objetivo valor la importancia de las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal y en particular el género *Bacillus* como bioestimuladores y biofertilizantes de los cultivos, así como los mecanismos fundamentales mediante los cuales estos microorganismos ejercen su efecto promotor en las plantas.

## Desarrollo

### Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Las RPCV incluyen un amplio grupo de géneros bacterianos como *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Burkholderia*, *Rhizobium* y *Erwinia* (Habibi *et al.*, 2014), de los cuales, *Pseudomonas* y *Bacillus* son los utilizados mayormente para la producción de inoculantes bacterianos a nivel comercial (Gobelak *et al.*, 2015).

### Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Las rizobacterias promotoras del crecimiento influyen sobre el rendimiento de los cultivos y la resistencia a estreses abióticos y bióticos (García-Fraile *et al.*, 2015). Estas bacterias poseen diferentes mecanismos directos como la producción de sustancias que regulan el crecimiento, la fijación del nitrógeno y la solubilización de fosfatos y otros elementos, lo cual permite incrementar la absorción de agua, nutrientes y elementos esenciales, que tienen un efecto beneficioso sobre la fisiología de las plantas (Owen *et al.*, 2015). Los mecanismos indirectos están relacionados con la inhibición de patógenos a través de la producción de antibióticos y enzimas líticas (Abhilash *et al.*, 2016). A continuación se expondrán los principales mecanismos directos de las RPCV.

### Mecanismos de acción directos de las RPCV

#### Fijación del nitrógeno

Después de la fotosíntesis, la fijación del nitrógeno es el proceso biológico más importante en la naturaleza, el cual posibilita la circulación del nitrógeno en la biosfera (Wani *et al.*, 2016). La fijación biológica del nitrógeno atmosférico es un proceso mediante el cual algunas especies bacterianas, tanto simbióticas como no simbióticas, utilizan la enzima nitrogenasa para convertir el nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) en amoníaco (Denton *et al.*, 2009). La actividad de esta enzima depende de la concentración de oxígeno y de la disponibilidad de nitrógeno (Vijayabharathi *et al.*, 2016).

Las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno de los géneros *Rhizobium* y *Frankia*, se asocian principalmente con leguminosas para formar nódulos, donde cada simbiote obtiene beneficios. Las plantas asimilan el nitrógeno en forma de compuestos orgánicos nitrogenados y las bacterias obtienen refugio y malato para las principales rutas del metabolismo, como el ciclo de Krebs. Entre las especies no simbióticas fijadoras de nitrógeno se encuentran principalmente las que pertenecen a los géneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* y *Bacillus*.

El uso de las RPCV constituye una alternativa viable en el sector agrícola, para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados, ya que estos microorganismos pueden estimular el crecimiento de las plantas a través de la fijación biológica del nitrógeno (Pedraza, 2008).

### **Solubilización de fosfatos**

La solubilización del fósforo se relaciona con la transformación de fosfatos orgánicos e inorgánicos insolubles o pocos solubles presentes en la rizosfera, a formas más solubles asimilables por la planta. El fósforo es uno de los elementos químicos esenciales para todos los organismos, ya que forma parte de diversas moléculas con funciones vitales como los ácidos desoxirribonucleicos (ADN) y ribonucleicos (ARN), que participan en la conservación y expresión de la información genética; del trifosfato de adenosina (ATP) que constituye la forma química fundamental del metabolismo energético, así como de fosfolípidos presentes en las membranas biológicas. Afecta por tanto directa o indirectamente, la mayoría de los procesos metabólicos en las células, como por ejemplo la transducción de señales, la respiración, la biosíntesis macromolecular y la fotosíntesis (Anand *et al.*, 2016).

Aunque el fósforo es uno de los macronutrientes más importantes para la planta, la concentración de este elemento disponible para la planta es muy baja. Entre el 95 y el 99% del fósforo se encuentra presente en forma insoluble, inmovilizada o precipitada, por lo tanto, es difícil su absorción por las plantas, cuyas únicas formas asimilables son los iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$  (Gouda *et al.*, 2018).

Algunos microorganismos del suelo tienen la capacidad producir y secretar ácidos orgánicos, sideróforos o enzimas como fosfatasas, fitasas, fosfonatasas y liasas C-P, que permiten solubilizar porciones de fósforo insolubles presentes en el suelo. La producción y liberación a la rizosfera de estos ácidos orgánicos, provocan la acidificación del suelo y el incremento directo de la solubilidad de los fosfatos (Souza *et al.*, 2015; Basu *et al.*, 2017).

El mecanismo bioquímico de solubilización está relacionado con las propiedades de los grupos hidroxilos y carboxilos presentes en los ácidos orgánicos y otros compuestos como sideróforos e iones hidroxilos, que participan en la quelatación de los cationes metálicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) y que permiten la liberación de los grupos fosfatos a los que se encuentran unidos (Bhardwaj *et al.*, 2014).

Las enzimas, por otra parte, tienen funciones diferentes. Las fosfatasas participan en la desfosforilación de los grupos fosfoéster presentes en compuestos que forman la materia orgánica. Las fitasas catalizan el proceso de hidrólisis del ácido fítico, que libera de forma secuencial hasta seis grupos ortofosfatos libres, mientras que las fosfonatasas y las liasas C-P, participan en la ruptura del enlace carbono - fósforo de los organofosfonatos (Rodríguez *et al.*, 2006).

Algunas RPCV como *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Burkholderia* sp., *Rhizobium* sp. y *Flavobacterium* sp., entre otras (Tabla 1), tienen la capacidad de solubilizar algunos compuestos insolubles de fosfatos (Hassen *et al.*, 2016). En algunos casos, bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Serratia* pueden participar en la solubilización y mineralización al mismo tiempo (Gopalakrishnan *et al.*, 2014).

Tabla 1. Rizobacterias con capacidad de solubilizar fosfatos y otros minerales.

Género / Especies	Mineral	Autores
<i>Bacillus aryabhatai</i> y <i>B. subtilis</i>	Óxido de zinc	Mumtaz <i>et al.</i> (2017)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>P. putida</i> , <i>B. subtilis</i>	Ca <sub>3</sub> (PO) <sub>2</sub>	Yadav <i>et al.</i> (2010)
<i>B. cereus</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. pumilus</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Thanh y Tram (2018)
<i>Bacillus</i> sp.	Ca <sub>3</sub> (PO) <sub>2</sub>	Bhargavi y Tallapragada (2016)
<i>Bacillus</i> sp., <i>Corynebacterium</i> sp., <i>Enterococcus</i> sp.	Ca <sub>3</sub> (PO) <sub>2</sub>	Chinakwe <i>et al.</i> (2019)
<i>Rhizobium</i> y <i>P. fluorescens</i>	Ca <sub>3</sub> (PO) <sub>2</sub>	Samavat <i>et al.</i> (2012)

## Producción de reguladores del crecimiento vegetal

Los microorganismos promotores del crecimiento de las plantas son capaces de producir fitohormonas que estimulan el crecimiento de los vegetales. El mecanismo de esta actividad se conoce como bioestimulación. Los principales grupos de fitohormonas estimuladoras del crecimiento en las plantas son las auxinas, las citoquininas y las giberelinas (Gopalakrishnan *et al.*, 2014).

### Auxinas

Las auxinas tienen una función fundamental en la modulación del desarrollo de las plantas. Aproximadamente, el 80 % de las RPCV pueden sintetizar ácido indolacético (AIA), el cual estimula la división, el alargamiento y la diferenciación celular (Mrkovački *et al.*,

2012; Stamenković *et al.*, 2018). Otras funciones fisiológicas importantes del ácido indolacético están relacionadas con la formación de raíces laterales en las plantas dicotiledóneas y las adventicias en las monocotiledóneas, con el incremento en grosor de las paredes celulares secundarias de las células xilemáticas, lo cual aumenta la absorción de agua y sales minerales (Hassen *et al.*, 2016; Vijayabharathi *et al.*, 2016).

El compuesto precursor del ácido indolacético es el aminoácido L-triptófano, el cual se encuentra en exudados de las raíces de las plantas en concentraciones diferentes, en dependencia del genotipo. La capacidad de promover el crecimiento de las RPCV puede requerir señalizaciones que sean efectivas desde la planta hospedera. En la Figura 2 se muestra una representación esquemática de la síntesis de AIA a partir de L- triptófano.

### **Giberelinas**

Las giberelinas participan también en el proceso de división celular y en el alargamiento de los entrenudos (Figura 3). Algunos autores consideran que estas sustancias reguladoras aumentan la densidad de los pelos absorbentes y con ello mejoran también la absorción del agua y las sales minerales. Otras funciones importantes están relacionadas con la inducción del proceso de germinación y la prevención de la dormancia en las semillas y los bulbos y la inducción del fenómeno de la partenocarpia. La deficiencia de giberelinas provoca el enanismo de las plantas (Gopalakrishnan *et al.*, 2014). No obstante, los mecanismos mediante los cuales las giberelinas mejoran el crecimiento de las plantas no se conocen con claridad (Vijayabharathi *et al.*, 2016).

### **Citoquininas**

Las citoquininas participan en el crecimiento vegetal ya que estimulan también la división celular y en algunos casos, el desarrollo de las raíces y los pelos absorbentes presentes en este órgano (Gopalakrishnan *et al.*, 2014). Además, tienen funciones importantes en el crecimiento de los callos vegetales y contribuyen con la diferenciación de los brotes (Vijayabharathi *et al.*, 2016). El 90 % de los microorganismos de la rizosfera tiene la capacidad de producir citoquininas. Aproximadamente 30 compuestos del grupo de las citoquininas tienen un origen microbiano.

Varios grupos bacterianos tienen la capacidad de producir citoquininas, entre los que se encuentran *Bacillus* sp., *Azotobacter* sp. y *Pseudomonas* sp. En la Tabla 2 se muestran resultados importantes de especies bacterianas con actividad bioestimuladora.

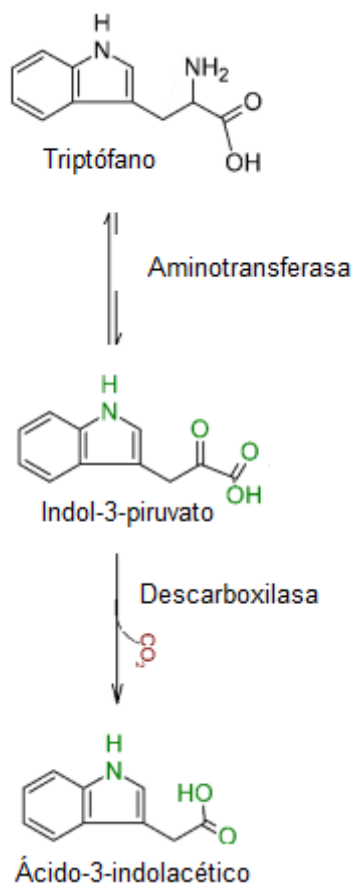


Figura 2. Esquematzación general de la ruta de síntesis principal del ácido 3-indolacético.

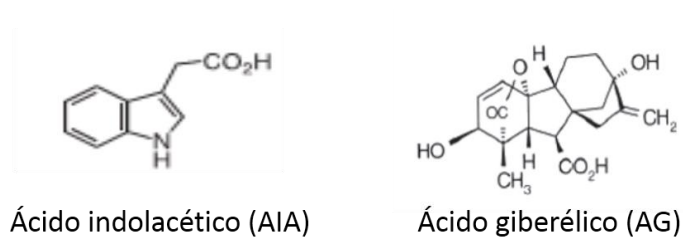


Figura 3. Estructura química de los reguladores del crecimiento ácido indolacético y el ácido giberélico. Fuente: Rodrigues *et al.* (2011).

Tabla 2. Bacterias productoras de reguladores del crecimiento vegetal.

Género / especie	Reguladores del crecimiento	Autores
<i>Bacillus</i> spp.	AIA (1-15 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	Thakur <i>et al.</i> (2017)
<i>Pseudomonas</i> spp.	AIA (2-11 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	
<i>P. aeruginosa</i>	AIA (35,36 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	Yadav <i>et al.</i> (2010)
<i>P. putida</i>	AIA (48,46 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	
<i>B. subtilis</i>	AIA (36,38 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	
<i>Bacillus</i> sp. CaSUT007	AIA (31,00 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	Buensanteai <i>et al.</i> (2013)
<i>Bacillus cereus</i>	AIA (6,75 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	Thanh y Tram (2018)
<i>Bacillus megaterium</i>	AIA (4,94 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	
<i>Bacillus subtilis</i>	AIA (3,94 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	
<i>Bacillus pumilus</i>	AIA (5,59 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	
<i>Bacillus megaterium</i>	Giberelina (3,9 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	
<i>Bacillus megaterium</i>	AIA (> 90 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	Gunes <i>et al.</i> (2015)
<i>B. megaterium</i> TV-91C	Giberelina (215 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	Turan <i>et al.</i> (2014)
<i>Pantoea agglomerans</i>	Giberelina (216 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	
<i>Bacillus subtilis</i> TV-17C	Giberelina (214 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )	

### Potencialidades del género *Bacillus* spp. como promotor del crecimiento vegetal

Los microorganismos del género *Bacillus* spp. representan una variedad amplia de bacterias con características comunes como son: Gram positivas, aerobias estrictas o anaerobias facultativas y pertenecen al grupo de los formadores de endospora (BAFE). Esta última propiedad permite a estos microorganismos resistir condiciones climáticas adversas como temperaturas extremas, radiación ultravioleta, agentes oxidantes y corrosivos, sequías, lluvias fuertes, entre otras (Schulz *et al.*, 2006). Además, este género se considera una biofábrica para la producción de una gama amplia de moléculas biológicamente activas y potencialmente inhibitorias para el crecimiento de fitopatógenos (Ongena y Jacques, 2008).

Los microorganismos de este género son consideradas algunos de los mejores candidatos, para el desarrollo de productos biopesticidas y biofertilizantes eficientes desde un punto de vista tecnológico, por su capacidad para producir esporas resistentes, lo que hace que los productos tengan larga vida de anaquel y su formulación y producción sea más fácil



(Hamdache *et al.*, 2011). Entre ellos, se destacan las cepas de *B. subtilis* como los más utilizadas para la estimulación del crecimiento y el control de enfermedades cuando se aplica desde semillas hasta a plántulas (Kokalis-Burelle *et al.*, 2005) (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto positivo de inoculantes bacterianos en el crecimiento de las plantas.

<b>Bacillus</b>	<b>Especie vegetal</b>	<b>Resultado</b>	<b>Autores</b>
<i>Bacillus</i> spp. (cepas AvNB-1, AvNB-2 y AvNB-5)	<i>Aloe vera</i> L.	Incremento longitud de la planta	Thakur <i>et al.</i> (2017)
<i>B. subtilis</i>	<i>Cicer arietinum</i> L.	Incremento en longitud y peso seco de brote y raíz	Yadav <i>et al.</i> (2010)
<i>Bacillus</i> sp. CaSUT007	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Aumento en longitud de brote y raíz	Buensanteai <i>et al.</i> (2013)
<i>B. amyloliquefaciens</i> IN937a, <i>B. cereus</i> BS107, <i>B. pumilus</i> INR7, <i>B. subtilis</i> GB03	<i>Kalanchoe daigremontiana</i>	Aumento en longitud de la planta, raíz y grosor del tallo	Yong-Soon <i>et al.</i> (2015)
<i>Bacillus megaterium</i> TV-91C, <i>Pantoea agglomerans</i> RK-92, <i>Bacillus subtilis</i> TV-17C	<i>Brassica oleracea</i> L.	Incremento en la longitud de la plántula, diámetro del tallo, peso fresco y seco de la raíz y el brote	Turan <i>et al.</i> (2014)
<i>Bacillus megaterium</i> XTBG34	<i>Arabidopsis thaliana</i> L.	Incremento en peso fresco	Zou <i>et al.</i> (2010)
Consorcio <i>Rhizobium</i> + <i>Pseudomonas</i> + <i>Bacillus</i>	<i>Arachis hypogaea</i> L.	Aumento en la longitud, peso seco e índice de vigor en plántulas	Mathivanan <i>et al.</i> (2014)
<i>Bacillus megaterium</i> KBA-10	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i>	Aumento del peso fresco del brote, peso seco y longitud de la raíz	Ekinci <i>et al.</i> (2014)
<i>Bacillus mycoides</i>	<i>Cydonia oblonga</i>	Aumento del	Arkan <i>et al.</i>

<i>T8</i> y <i>Bacillus subtilis</i> OSU-142	Miller	rendimiento, número, peso, largo y ancho de los frutos	(2013)
<i>Bacillus licheniformis</i> , <i>B. pumilus</i>	<i>Cuscuta campestris</i> Yunk.	Aumento de la germinación	Sarić-Krsmanović <i>et al.</i> (2017)
<i>Bacillus subtilis</i> GIBI-200, <i>B. pumilus</i> GIBI-206	<i>Rubus glaucus</i> Benth. cv. Thornless	Similar número, longitud y grosor de ramas, en comparación con la fertilización mineral (control)	Robledo-Buriticá <i>et al.</i> (2018)
<i>Bacillus circulans</i> y <i>Bacillus polymyxa</i>	<i>Spinacia oleracea</i> L.	Aumento de la altura de la planta, número de hojas y área foliar.	Hauka <i>et al.</i> (2016)

### Principales limitantes del uso de las RPCV

Aunque numerosas investigaciones confirman el efecto beneficioso de las RPCV en las plantas, y existen abundantes trabajos de inoculantes con varias combinaciones de microorganismos (algunos disponibles en el mercado); los resultados no siempre son consistentes y en algunos casos inesperados (Abhilash *et al.*, 2016; Keswani *et al.*, 2016). La aplicación de *Azospirillum brasilense* y *Azospirillum iraknse* al cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.), mostró en principio buenos resultados con relación al peso seco de las raíces y al número de brotes. Sin embargo, al final de la cosecha el rendimiento no alcanzó su potencial máximo debido a un déficit hídrico (Stamenković *et al.*, 2018).

La experiencia demuestra que los fertilizantes microbianos no son aceptados en una gran extensión por los productores agrícolas, debido a que no es fácil replicar su efecto en el campo. Es evidente que si el inoculante no es preparado o aplicado de la manera correcta, las propiedades útiles del fertilizante no se manifestarán (Mishra y Arora, 2016). Entre los factores observados que afectan la calidad de varios biofertilizantes disponibles en el mercado, están el número reducido de células viables, la baja colonización de las raíces por los microorganismos, la contaminación del inoculante que disminuye la confianza de estos productos y el potencial comercial (Vassilev *et al.*, 2015).

El manejo de estos productos requiere de atención y su uso inapropiado es la razón principal por la cual los buenos resultados, que se obtienen en condiciones de laboratorio, no pueden ser reproducidos en el campo, lo cual explica la dificultad de la comercialización de estos productos (Bashan *et al.*, 2014).

Algunos autores sugieren para el desarrollo de los biofertilizantes es necesario que se enriquezcan con diferentes metabolitos junto a los microorganismos, de acuerdo a los requerimientos de las plantas (Marks *et al.*, 2015). También se plantea que los biofertilizantes tendrán una mayor aplicación en el futuro, si se logra el desarrollo de materiales inertes que puedan incrementar la estabilidad del producto, su tiempo de vida y su efectividad en el suelo (Abhilash *et al.*, 2016).

Por otra parte, es importante destacar que la mayoría de los investigadores están enfocados principalmente en la caracterización de los microorganismos, que son apropiados para el cultivo de las plantas, así como la aplicación posterior en el sistema planta-suelo en condiciones controladas. Sin embargo, procesos importantes como la multiplicación de la masa y los procedimientos para las formulaciones se estudian en menor extensión, aun cuando tienen una importancia fundamental para la efectividad del producto (Vassilev *et al.*, 2015).

## Conclusiones

El uso de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal constituye una alternativa ecológica y sostenible de promover el crecimiento de los cultivos, en comparación con el uso tradicional de fertilizantes químicos, que afectan al medio ambiente. Las RBPC estimulan el crecimiento de las plantas mediante mecanismos directos como la fijación de nitrógeno, la producción de reguladores del crecimiento como auxinas, giberelinas y citoquininas, así como mediante la solubilización de fosfatos insolubles en formas asimilables por las plantas. Entre los géneros más promisorios para el desarrollo de nuevos productos agroecológicos con principios bioestimulantes y biofertilizantes está *Bacillus*, el cual posee varias especies con propiedades promotoras. Además, la capacidad de producir endosporas facilita la estabilidad de estos productos y su prevalencia en campo bajo diversas condiciones ambientales adversas.

## Bibliografía

ABHILASH, P. C., DUBEY, R. K., TRIPATHI, V., GUPTA, V. K. AND SINGH, H. B. Plant growth-promoting microorganisms for environmental sustainability. *Trends Biotechnol.*, no. 11, vol. 34, 2016, pp. 847-850.

ANAND, K., KUMARI, B. AND MALLICK, M. A. Phosphate solubilizing microbes: an effective and alternative approach as bio-fertilizers. *Int. J. Pharm. Sci.*, no. 2, vol. 8, 2016, pp. 37-40.

ARIKAN, Ş., İPEK, M. AND PIRLAK, L. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and fruit quality of quince. *International Conference on Agriculture and Biotechnology*, no. 19, vol. 60, 2013, pp. 97-100.

BASHAN, Y., DE-BASHAN, L. E., PRABHU, S. R. AND HERNANDEZ, J. P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998-2013). *Plant Soil*, no. 1-2, vol. 378, 2014, pp. 1-33.

BASU, S., RABARA, R. AND NEGI, S. Towards a better greener future - An alternative strategy using biofertilizers. I: Plant growth promoting bacteria. *Plant Gene*, vol. 12, 2017, pp. 43-49.

BHARDWAJ, D., ANSARI, M. W., SAHOO, R. K. AND TUTEJA, N. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, no. 66, vol. 13, 2014, pp. 1-10.

BHARGAVI, V. G. R. AND TALLAPRAGADA, P. *Bacillus* sp. as potential plant growth promoting rhizobacteria. *International Journal of Advanced Life Sciences*, no. 1, vol. 9, 2016, pp. 29-36.

BUENSANTEAI, N., SOMPONG, M., THAMNU, K., ATHINUWAT, D., BRAUMAN, A. AND PLASSARD, C. The plant growth promoting bacterium *Bacillus* sp. CaSUT007 produces phytohormone and extracellular proteins for enhanced growth of cassava. *African Journal of Microbiology Research*, no. 42, vol. 7, 2013, pp. 4949-4954.

CHINAKWE, E. C., IBEKWE, V. I., NWOGWUGWU, U. N., OFOEGBU, J., MIKE-ANOSIKE, E., NWACHUKWU, I. N., ADELEYE, S. AND CHINAKWE, P. O. Evaluation of plant growth promoting potentials exhibited by rhizobacteria associated with beans plant. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture (MJSA)*, no. 1, vol. 3, 2019, pp. 20-22.

DENTON, M.D., PEARCE, D.J., BALLARD, R.A., HANNAH, M.C., MUTCH, L.A., NORNG, S., SLATTERY, J.F. A multi-site field evaluation of granular inoculants for legume nodulation. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 41, 2009, pp. 2508-2516.

EKINCI, M., TURAN, M., YILDIRIM, E., GÜNEÚ, A., KOTAN, R. AND DURSUN, A. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrient, organic acid, amino acid and hormone content of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) transplants. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus*, no. 6, vol. 13, 2014, pp. 71-85.

GARCIA-FRAILE, P., MENENDEZ, E. AND RIVAS, R. Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. *AIMS Bioeng*, no. 3, vol. 2, 2015, pp. 183-205.

GOPALAKRISHNAN, S., SATHYA, A., VIJAYABHARATHI, R., VARSHNEY, R. K., GOWDA, C. L. L. AND KRISHNAMURTHY, L. Plant growth promoting rhizobia: challenges and opportunities. *3 Biotech*, no. 4, vol. 5, 2014, pp. 355-377.

GOUDA, S., KERRY, R. G., DAS, G., PARAMITHIOTIS, S., SHIN, H. S. AND PATRA, J. K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, vol. 206, 2018, pp. 131-140.

GROBELAK, A., NAPORA, A. AND KACPRZAK, M. Using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve plant growth. *Ecological Engineering*, vol. 84, 2015, pp. 22-28.

GUNES, A., KARAGOZ, K., TURAN, M., KOTAN, R., YILDIRIM, E., CAKMAKCI, R. AND SAHIN, F. 2015. Fertilizer efficiency of some plant growth promoting rhizobacteria for plant growth. *Research Journal of Soil Biology*. 7 (2): 28-45.

HABIBI, S., DJEDIDI, S., PRONGJUNTHUEK, K., MORTUZA, M. F., OHKAMA-OHTSU, N., SEKIMOTO, H. AND YOKOYOMA, T. Physiological and genetic characterization of rice nitrogen fixer PGPR isolated from rhizosphere soils of different crops. *Plant and Soil*, vol. 379, 2014, pp. 51-66.

HAMDACHE, A., LAMARTI, A., ALEU, J. AND COLLADO, I. Non-peptide Metabolites from the genus *Bacillus*. *Journal of natural products*, vol. 74, 2011, pp. 893-899.

HASSEN, A. I., BOPAPE, F. L. AND SANGER L. K. Microbial inoculants as agents of growth promotion and abiotic stress tolerance in plants. In: *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity*; Singh D Singh H, Prabha R (eds.). 2016. pp: 23-36. Springer, New Delhi.

HAUKA, F. I. A., MOSLAM, T. M., GHANEM, K. H. M. AND EL-SHAHAT, M. M. Impact of some plant growth promoting rhizobacteria "PGPR" on organically cultivated spinach plants (*Spinacia oleracea* L.). *J. Agric. Chem. and Biotechn.*, Mansoura Univ, no. 9, vol. 7, 2016, pp. 235 – 240.

KESWANI, C., BISEN, K., SINGH, V., SARMA, B. K. AND SINGH, H. B. Formulation technology of biocontrol agents: Present status and future prospects. In: *Bioformulations: for sustainable agriculture*; Arora NK, Mehnaz S, Balestrini R (eds.). 2016. pp: 35-52. Springer, New Delhi.

KOKALIS-BURELLE, N., KLOEPPER, J. AND REDDY, M. Plant growth-promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere microorganisms. *Applied Soil Ecology*, vol. 31, 2005, pp. 91-100.

MARKS, B. B., MEGÍAS, M., OLLERO, F. J., NOGUEIRA, M. A., ARAUJO, R. S. AND HUNGRIA, M. Maize growth promotion by inoculation with *Azospirillum brasilense* and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipo-chitooligosaccharides (LCOs). *AMB Express*, no. 1, vol. 5, 2015, pp. 71-76.

MATHIVANAN, S., CHIDAMBARAM, A. L. A., SUNDARAMOORTHY, P., BASKARAN, L. AND KALAIKANDHAN, R. The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Seed Germination and Biochemical constituents. *International Journal of Current Research and Academic Review*, no. 9, vol. 2, 2014, pp. 187-194.

- MISHRA, J. AND ARORA, N. K. Bioformulations for plant growth promotion and combating phytopathogens: A sustainable approach. In: Bioformulations: for sustainable agriculture; Arora NK, Mehnaz S, Balestrini R (eds.). 2016. pp: 3-33. Springer, New Delhi.
- MRKOVAČKI, N., JARAK, M., IVICA, D. AND JOCKOVIĆ, Đ. Importance of PGPR application and its effect on microbial activity in maize rhizosphere. *Ratar i Povrt*, no. 3, vol. 49, 2012, pp. 335-344.
- MUMTAZ, M. Z., AHMAD, M., JAMIL, M. AND HUSSAIN, T. Zinc solubilizing *Bacillus* spp. potential candidates for biofortification in maize. *Microbiol Res*, vol. 202, 2017, pp. 51-60.
- ONGENA, M. AND JACQUES, P. *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends Microbiol*, vol. 16, 2008, pp. 115-25.
- OWEN, D., WILLIAMS, A. P., GRIFFITH, G. W. AND WITHERS, P. J. A. Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorous acquisition. *Appl Soil Ecol*, vol. 86, 2015, pp. 41-54.
- PEDRAZA, R. O. Recent advances in nitrogen-fixing acetic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, vol. 125, 2008, pp. 25-35.
- ROBLEDO-BURITICÁ, J., ARISTIZÁBAL-LOAIZA, J. C., CEBALLOS-AGUIRRE, N. AND CABRA- CENDALES, T. Influence of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on blackberry (*Rubus glaucus* Benth. cv. thornless) growth under semi-cover and field conditions. *Acta Agron*, no. 2, vol. 67, 2018, pp. 258-263.
- RODRIGUES, C., PORTO, L., DE OLIVEIRA, J. AND SOCCOL, C.R. New perspectives of gibberellic acid production: A review. *Critical Reviews in Biotechnology*, vol. 2, 2011, pp. 1-11.
- RODRIGUEZ, H., FRAGA, R., GONZALEZ, T. AND BASHAN, Y. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. *Plant and Soil*, vol. 287, 2006, pp. 15-21.
- SAMAVAT, S., SAMAVAT, S., MAFAKHERI, S. AND SHAKOURI, M. J. Promoting common bean growth and nitrogen fixation by the co-inoculation of *Rhizobium* and *Pseudomonas fluorescens* isolates. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, no. 3, vol. 18, 2012, pp. 387-395.
- SARIĆ-KRSMANOVIĆ, M., BOŽIĆ, D., RADIVOJEVIĆ, L., UMILJENDIĆ, J.G., ŠANTRIĆ, L. AND VRBNIČANIN, S. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and cover crops on seed germination and early establishment of field dodder (*Cuscuta campestris* Yunk.). *Pestic. Phytomed.* (Belgrade), no. 2, vol. 32, 2017, pp. 105-111.
- SCHULZ, B. E., BOYLE, C. C., SIEBER, T., KLOEPPER, J., RYU, C. M. Bacterial endophytes as elicitors of induced systemic resistance, microbial root endophytes. Springer Berlin Heidelberg, vol. 3, 2006. pp. 33-52.



SINGH, I. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and their various mechanisms for plant growth enhancement in stressful conditions: a review. *European Journal of Biological Research*, vol. 4, no. 8, 2018, pp. 191-213.

SOUZA, R., DE AMBROSINI, A. AND PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genet Mol Biol*, no. 4, vol. 38, 2015, pp. 401-419.

STAMENKOVIĆ, S., BEŠKOSKI, V., KARABEGOVIĆ, I., LAZIĆ, M. AND NIKOLIĆ, N. Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives. *Spanish Journal of Agricultural Research*, no. 1, vol. 16, 2018, pp. 1-18.

THAKUR, D., KAUR, M. AND MISHRA, A. Isolation and screening of plant growth promoting *Bacillus* spp. and *Pseudomonas* spp. and their effect on growth, rhizospheric population and phosphorous concentration of *Aloe vera*. *Journal of Medicinal Plants Studies*, no. 1, vol. 5, 2017, pp. 187-192.

THANH, D. T. N. AND TRAM, D. T. T. Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria in black pepper (*Piper nigrum* L.) cultivated in Chon Thanh and LocNinh Districts of BinhPhuoc Province, Vietnam. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, no. 1, vol. 10, 2018, pp. 1-10.

TURAN, M., EKINCI, M., YILDIRIM, E., GÜNEŞ, A., KARAGÖZ, K., KOTAN, R. AND DURSUN, A. Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient, and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*) seedlings. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 38, 2014, pp. 327-333.

VASSILEV, N., VASSILEVA, M., LOPEZ, A., MARTOS, V., REYES, A., MAKSIMOVIC, I., EICHLER-LÖBERMANN, B. AND MALUSÀ, E. Unexploited potential of some biotechnological techniques for biofertilizer production and formulation. *Appl Microbiol Biotechnol*, no. 12, vol. 99, 2015, pp. 4983-4996.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, vol. 255, 2003, pp. 571-586.

VIJAYABHARATHI, R., SATHYA, A. AND GOPALAKRISHNAN, S. A renaissance in plant growth-promoting and biocontrol agents by endophytes. In: *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity*; Singh DP, Singh HB, Prabha R (eds.). 2016. pp: 37-60.

WANI, S. A., CHAND, S., WANI, M. A., RAMZAN, M. AND HAKEEM, K. R. *Azotobacter chroococcum*- A potential biofertilizer in agriculture: An overview. In: *Soil Science: Agricultural and environmental prospectives*; Hakeem KR, Akhtar J, Sabir M (eds.) 2016. pp: 333-348.

YADAV, J., VERMA, J. P. AND TIWARI, K. N. Effect of plant growth promoting Rhizobacteria on seed germination and plant growth Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under *in vitro* conditions. *Biological Forum - An International Journal*, no. 2, vol. 2, 2010, pp. 15-18.

YONG-SOON, P., PARK, K., KLOEPPER, J.W. AND CHOONG-MIN, R. Plant growth-promoting rhizobacteria stimulate vegetative growth and asexual reproduction of *Kalanchoe daigremontiana*. *The Plant Pathology Journal*, no. 2, vol. 31, 2015, pp. 1-6.

ZOU, CH., LI, Z AND YU, D. *Bacillus megaterium* Strain XTBG34 Promotes plant growth by producing 2-pentylfuran. *The Journal of Microbiology*, no. 4, vol. 48, 2010, pp. 460-466.