

LOS MICROORGANISMOS ESTIMULADORES DEL CRECIMIENTO VEGETAL Y SUS POTENCIALIDADES PARA EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA

Dr. C. Maykelis Díaz Solares¹, Yosbel Quintana Castillo², Dr. C. Leticia Fuentes
Alfonso², MSc. Yunel Pérez Hernández²

1. *Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey".
Perico, Matanzas, Cuba.*

maykelis.diaz@ihatuey.cu

2. *Universidad de Matanzas, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*

Resumen

La agricultura actual se sustenta en el uso excesivo de fertilizantes y bioplaguicidas químicos que elevan los rendimientos agrícolas, pero representan un riesgo para los agroecosistemas y para la salud humana y animal, ya que estos provocan la degradación de los suelos, la contaminación de las aguas subterráneas y afectan la biodiversidad. Los microorganismos del suelo constituyen una fuente potencial para el desarrollo de productos naturales. Las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (BPCP) estimulan el crecimiento de los cultivos, ya que pueden producir fitohormonas como el ácido indolacético que promueven la división celular, solubilizan minerales o disminuyen el ataque de microorganismos patógenos al reducir sus poblaciones. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar las potencialidades que presentan los microorganismos del suelo, en específico las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas para el desarrollo de los cultivos.

Palabras claves: microorganismos eficientes, agricultura sostenible.

Introducción

El uso de fertilizantes y productos químicos a gran escala constituye todavía la base fundamental de las producciones agrícolas en países desarrollados y subdesarrollados. Desde su inicio con la “Revolución verde” hasta la fecha, aunque se incrementaron los rendimientos de cultivos importantes, no se han cumplido las promesas de reducir el hambre en el mundo. En la actualidad, se debate constantemente en el sector científico y en la población en general, sobre los procesos de eutrofización y contaminación de las aguas con el uso excesivo de estos productos químicos y los riesgos para la salud de hombre. Además de ocasionar otros problemas como la degradación de los suelos y a la pérdida de la biodiversidad (Das *et al.*, 2013).

Como contraparte a este sistema de producción agrícola, la agricultura sostenible representa una promesa para minimizar el uso de los productos químicos que desequilibran el medioambiente. Los productos naturales a base de microorganismos del suelo, se encuentran dentro de las estrategias para desarrollar el manejo agroecológico de los ecosistemas (Ullah *et al.*, 2012).

La tecnología para el desarrollo de productos con microorganismos se basa en la inoculación de cultivos mixtos de microorganismos benéficos en el suelo, para crear un ambiente favorable para el crecimiento y salud de las plantas (Olle, 2015). Estos productos se emplean para estimular el crecimiento de las plantas por vía directa mediante la producción de reguladores del crecimiento como auxinas, citoquininas y giberelinas o mediante la solubilización de minerales como el fosfato y el hierro (Changas-Junior *et al.*, 2015) o por vía indirecta a través de la producción de antibióticos que reducen los microorganismos fitopatógenos (Grosu *et al.*, 2015). En la actualidad, se emplean en la reducción de contaminantes orgánicos como resultado de la actividad industrial (Khatab *et al.*, 2015). El objetivo del presente trabajo fue analizar las potencialidades que presentan los microorganismos del suelo, en específico las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas para el desarrollo de los cultivos.

Desarrollo

Los Microorganismos Efectivos o Eficientes

El concepto y la tecnología de los Microorganismos Efectivos (ME) fue desarrollado por el Profesor Dr. Teruo Higa, en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón. El principio de esta tecnología es introducir un grupo de microorganismos benéficos, para mejorar la condición de los suelos, suprimir los microorganismos putrefactivos (inductores de enfermedades), y mejorar la eficacia en la utilización de la materia orgánica en los suelos (Higa, 2004).

Los microorganismos no sustituyen el accionar de una buena práctica agroecológica de manejo para los sistemas integrados, sin embargo, adiciona una nueva dimensión en la

optimización del uso de los suelos, del manejo de los residuales, de la rotación de cultivos, la utilización de aditivos orgánicos, la conservación en forma de ensilajes, el reciclaje de los residuos de cosechas y de los biocontroles para el tratamiento de plagas (Higa y Wididana, 1991).

Los ME son una mezcla de diferentes microorganismos tanto aerobios como anaerobios con más de 80 cepas, que representan cerca de 10 géneros diferentes y que poseen aproximadamente cerca de 100 millones de microorganismos activos/mL a un pH entre 3,2 y 3,8. Estos microorganismos fisiológicamente compatibles y mutuamente complementarios, coexisten en equilibrio en un cultivo líquido o sólido y pueden ser aplicados como inoculantes para incrementar la diversidad microbiana de suelos y plantas (Zhou *et al.*, 2009).

Grupos taxonómicos fundamentales que integran los ME

Los Microorganismos Eficaces están compuestos por bacterias fotosintéticas o fototróficas no sulfurosas (*Rhodospseudomonas* sp.), bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* sp.) y levaduras (*Saccharomyces* sp.) en concentraciones superiores a 10⁵ Unidades Formadoras de Colonias/mL (Ecororganica, 2009). Además, se detectan hongos filamentosos y actinomicetos que se encuentran en grandes cantidades en la naturaleza y que son capaces de interactuar entre sí (Woodward, 2003).

Las bacterias fotosintéticas no sulfurosas son muy versátiles debido a su plasticidad metabólica, ya que pueden desarrollarse en condiciones anaeróbicas fotoautotróficas y fotoheterotróficas, por medio de la reducción de compuestos inorgánicos y orgánicos, respectivamente (Romero, 2006).

El potencial biofertilizante de este grupo está en características como la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar nutrientes insolubles como fosfatos, descomponer residuos orgánicos, suprimir el crecimiento de patógenos del suelo, degradar tóxicos como pesticidas, reciclar e incrementar la disponibilidad de nutrientes y producir antibióticos y otras moléculas orgánicas simples como tocoferol, licopenos, saponinas, flavonoides y antioxidantes que estimulan el crecimiento de las plantas (Ramírez *et al.*, 2008).

Las bacterias ácido lácticas (BAL) son estrictamente fermentativas, crecen a un pH entre 4,8 y 9,6 y no forman esporas. Este tipo de bacterias promueve la fermentación de materia orgánica y descomponen materiales como lignina y celulosa (Zhou *et al.*, 2009); poseen la capacidad de suprimir microorganismos debido a la producción de sustancias antimicrobianas como ácido láctico, peróxido de hidrógeno y bacteriocinas (antibacterianos), o sustancias parecidas a antibióticos como acidofilina, lactocidina producidas por *Lactobacillus acidophilus*, lactolina producida por *Lactobacillus plantarum* y nisina producida por *Streptococcus lactis* (Visser *et al.*, 1986).

Estos microorganismos también son capaces de reducir poblaciones de nemátodos y controlar la propagación y diseminación de microorganismos patógenos como *Fusarium* sp. (Ström, 2005), *Pseudomonas* sp. (Cadirci y Citak, 2005), *Xantomona campestris* y *Erwinia caratovora* (Visser *et al.*, 1986).

Las levaduras sintetizan sustancias antimicrobiales útiles a partir de los aminoácidos y los azúcares secretados por las bacterias fototróficas y la materia orgánica presente en el medio. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas producidas por las levaduras, son sustratos útiles para los microorganismos benéficos como las bacterias ácido lácticas (Ecorganica, 2009).

Los hongos filamentosos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* actúan descomponiendo rápidamente la materia orgánica para producir alcohol, ésteres y sustancias antimicrobianas, lo que permite la desodorización del medioambiente, además de prevenir la aparición de insectos perjudiciales y gusanos (Saintmartin, 2007). Además, varios autores observaron la capacidad de estos organismos en estimular el crecimiento de distintos cultivos como *Glycine max* (Saxena *et al.*, 2016) y *Hordeum vulgare* cv. Arna (Ignatova *et al.*, 2015).

Los actinomicetos son bacterias Gram positivas, aerobios heterótrofos principalmente y formadores de esporas. El género principal es *Streptomyces*, cuyo olor característico a tierra húmeda se debe a compuestos volátiles como la geosmina. Los miembros de la familia Streptomycetaceae se caracterizan por la producción de metabolitos secundarios como enzimas inhibitorias extracelulares, herbicidas y antibióticos (Schlatter *et al.*, 2009). Son capaces de degradar moléculas complejas como celulosa, lignocelulosa, xilano y lignina; además, tienen una función importante en el proceso de descomposición de material orgánico, debido a sus enzimas líticas (Zhou *et al.*, 2009).

Dentro de otras funciones que tienen los actinomicetos está la capacidad de solubilizar fosfatos, lo cual es muy importante ya que el fósforo se encuentra entre un 95-99% en forma insoluble y no puede ser utilizado por las plantas. Por otra parte, poseen gran potencial como controladores de patógenos de plantas debido a la producción de antibióticos ionóforos (incrementan la captura de nutrientes incluyendo cationes) y enzimas que poseen actividad antimicrobiana. Entre estas enzimas está la quitinasa que puede ser aprovechada como mecanismo de biocontrol especialmente de hongos patogénicos. De igual forma, los actinomicetos son capaces de colonizar el sistema de raíz de las plantas, se les reconoce por su capacidad de sintetizar auxinas como el AIA que promueve el crecimiento de las raíces y la proliferación de pelos radicales, que mejoran la absorción de agua y minerales del suelo.

Empleo de los productos naturales a base de microorganismos en Cuba

En la agricultura cubana los principales géneros microbianos utilizados como biofertilizantes son: *Glomus*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*,

Gluconoacetobacter, *Pseudomonas* y *Bacillus* (Martínez-Viera y Dibut-Álvarez, 2012; Peña Borrego *et al.*, 2015).

Los cultivos agrícolas fundamentales en los cuales se han evaluado un mayor número de microorganismos biofertilizantes son el sorgo (*Sorghum bicolor* L. (Moench) y *Sorghum vulgare* L.), el arroz (*Oryza sativa* L.), la col (*Brassica oleracea* L.), el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la caña (*Saccharum officinarum* L.), el maíz (*Zea mays* L.), la papaya (*Carica papaya* L.) y canavalia (*Canavalia ensiformis* L.). Estos bioproductos, en conjunto con otros factores como el manejo integrado de plagas y la nutrición, permiten incrementar los volúmenes de producción; aunque en muchos renglones y cadenas productivas, no se satisface la demanda planificada por las autoridades que rigen la política agrícola del país (Peña Borrego *et al.*, 2015).

Según Dibut *et al.* (2010) en Cuba se beneficiaron más de 40 especies vegetales con el uso de los biofertilizantes y bioestimulantes. En un futuro inmediato, debido a los altos precios de los fertilizantes de nitrógeno y fósforo, se deberán tomar acciones agronómicas para incrementar la absorción de nutrientes por las plantas, y el uso de inoculantes microbianos es una de las alternativas, lo que propiciaría el desarrollo de los estudios sobre los microorganismos del suelo.

El suelo como fuente de microorganismos estimuladores del crecimiento

Las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (RPCP) son un grupo de microorganismos presentes en la rizosfera que promueven el crecimiento de las plantas. El uso potencial de las RPCP en las estrategias integrales para reducir los fertilizantes de nitrógeno y fósforo, constituye un área de estudio importante relacionada con la estimulación del crecimiento y el control biológico de los cultivos.

Estas bacterias estimulan el crecimiento mediante el incremento en la disponibilidad de los nutrimentos. Pueden ser usados como inóculos para la biofertilización, la fitoestimulación y el biocontrol y se clasifican de acuerdo con los efectos beneficiosos que promueven (Gwyn, 2006). Las rizobacterias, en cambio, se benefician de los nutrimentos secretados por las raíces de las plantas e influyen positivamente sobre estas, de manera directa e indirecta incrementando el crecimiento (Agrawal *et al.*, 2015).

La interacción planta-rizobacteria puede ser beneficiosa, detrimental o neutral y este balance es una consecuencia tanto del tipo de planta como del suelo (Latour *et al.*, 1996). Las bacterias beneficiosas pueden ser también simbióticas o de vida libre y son abundantes en la cercanía de las raíces (Kloepper *et al.*, 1989). Estas benefician a las plantas a través de la producción de fitohormonas como las auxinas (Gutierrez *et al.*, 1996), de la fijación asimbiótica de N₂ (Kennedy *et al.*, 1997), del antagonismo contra microorganismos fitopatógenos a través de la producción de antibióticos, sideróforos, quitinasa β-(1,3)-glucanasa (Renwick *et al.*, 1991), cianuro (Flaishman *et al.*, 1996) y de la solubilización de fosfatos minerales y otros nutrimentos (De Freitas *et al.*, 1997).

Dentro de los géneros que presentan bacterias promotoras del crecimiento de las plantas están *Bacillus* (Agrawal y Agrawal, 2013) y *Pseudomonas* (Agrawal y Johri, 2014). El tratamiento de semillas con RPCP mejoró distintos indicadores morfológicos y fisiológicos en plantas, como fue el porcentaje de germinación, el vigor de las semillas, la emergencia, el crecimiento de las raíces, del brote, de la biomasa total, del peso de la semilla, de la floración temprana y del rendimiento (Agrawal *et al.*, 2014). A continuación se resume el efecto de diferentes productos naturales a base de RPCP, sobre indicadores morfofisiológicos en cultivos de interés agrícola (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de microorganismos aislados de la rizosfera sobre el crecimiento de las plantas.

Especie	Microorganismo	Efecto	Autor (es)
<i>Oryza sativa</i> L. (variedades Basmati-385 y KSK-282)	<i>Bacillus licheniformis</i> NCCP-59	Aumento del porcentaje de germinación.	Jamil <i>et al.</i> (2014)
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	<i>Bacillus megaterium</i>	Aumento en la longitud de la raíz y la parte aérea.	Chookietwattana y Maneewan (2012)
	<i>Pantoea</i> sp.	Solubilización de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, aumento en la biomasa.	Sharon <i>et al.</i> (2016)
<i>Vicia faba</i> L.	<i>Pseudomonas</i> sp. y <i>Rhizobium</i> sp.	Solubilización de fosfatos, aumento en el porcentaje de germinación, índice de vigor, peso fresco y seco de raíz y parte aérea.	Demissie <i>et al.</i> (2013)
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	<i>Pseudomonas</i> sp.	Producción de AIA, cianuro de hidrógeno (HCN), solubilización de fosfatos, aumento del porcentaje de germinación y longitud de raíz y parte aérea de plántulas.	Agrawal <i>et al.</i> (2015)
<i>Zea mays</i> L.	<i>Pseudomonas</i> sp., <i>Serratia</i> sp. y <i>Bacillus</i> sp.	Producción de AIA, sideróforos, porcentaje de germinación, longitud de raíz y altura plántula.	Almaghrabi <i>et al.</i> (2014)
<i>Cicer arietinum</i> L.	<i>Streptomyces</i> sp.	Número y peso de los nódulos, peso seco de raíz y tallo, número y peso de legumbre, rendimiento.	Gopalakrishnan <i>et al.</i> (2015)

	<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Burkholderia</i> sp.	Aumento de la altura de la planta, número de hojas / planta, legumbre / planta, nódulos/planta, peso de 100 semillas.	Dasgupta <i>et al.</i> (2015)
<i>Cucumis sativus</i> L.	<i>Pseudomonas stutzeri</i> , <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Actividad fungicida contra <i>Phytophthora</i> sp., incremento de la germinación y vigor de las semillas.	Islam <i>et al.</i> (2016)

Microorganismos productores de reguladores del crecimiento

Las plantas producen fitohormonas o reguladores del crecimiento vegetales, los cuales constituyen compuestos que a concentraciones bajas ($\leq 1 \mu\text{mol.L}^{-1}$) pueden regular el crecimiento y desarrollo de los vegetales. Existen seis clases de fitohormonas: auxinas, citoquininas, brasinoesteroides, giberelinas, ácido abscísico, etileno y recientemente fueron descubiertas las estrigolactonas. Estas sustancias regulan procesos como la división, la expansión y la diferenciación celular, la formación de nuevas ramas y la muerte celular. Las rutas bioquímicas en las que participan las fitohormonas y las interacciones entre estas, tienen una función importante en la coordinación de la respuesta celular (Santner *et al.*, 2009).

Muchas bacterias presentes en la rizosfera pueden producir reguladores del crecimiento vegetal en condiciones *in vitro*, tales como las auxinas, las citoquininas, las giberelinas, el ácido abscísico y el etileno (Zahir *et al.*, 2003). Las bacterias que producen ácido abscísico y etileno se conocen como controladoras del estrés. Hasta el momento se desconoce si los brasinoesteroides y las estrigolactonas son producidos por bacterias u hongos.

Las fitohormonas producidas por los microorganismos pueden modular los niveles hormonales endógenos de las plantas y en consecuencia tienen una influencia considerable sobre el crecimiento y desarrollo (Van Loon, 2007). A continuación se hace referencia a aspectos generales sobre los reguladores que promueven el crecimiento de los vegetales.

Las auxinas tienen funciones importantes en la regulación de diferentes funciones como el ciclo celular, el crecimiento y desarrollo, la formación de los tejidos vasculares y el polen, así como el desarrollo de otras partes de la planta (He *et al.*, 2000). El ácido 3-indolacético (AIA) no conjugado es el miembro de las auxinas más abundante.

La producción de ácido indolacético por bacterias de la rizosfera y su efecto en el crecimiento de los vegetales fue demostrada por numerosos autores en diferentes cultivos de interés agrícola como *Triticum aestivum* L. (Khatib *et al.*, 2015), *Cicer arietinum* L. (Biswas *et al.*, 2014), *Solanum lycopersicum* L. (Agrawal y Agrawal, 2013) y *Lactuca sativa* L. (Gomez *et al.*, 2003), entre otros. Se considera que la estimulación del crecimiento por auxinas adicionadas exógenamente puede actuar mediante un incremento del crecimiento

de las raíces, la longitud y el área superficial, lo cual permite a la planta acceder a una mayor cantidad de nutrientes y agua del suelo.

En estudios realizados por Giassia *et al.* (2016) se identificaron varios grupos de microorganismos promotores del crecimiento presentes en la rizosfera como actinobacterias, bacterias ácido lácticas y bacilos, los cuales mostraron la capacidad de producir ácido indolacético y algunas de las cepas fueron además capaces de solubilizar el fósforo y el nitrógeno. Estos autores encontraron que la respuesta depende del genotipo en cuestión.

Nghia *et al.* (2017) aislaron la cepa bacteriana ST2- 1 presente en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). La misma produjo 33,31 mg.L⁻¹ de AIA y fue identificada molecularmente como *Bacillus megaterium*.

Las citoquininas pueden ser producidas por un grupo amplio de microorganismos en cultivos puros como por ejemplo, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rhodospirillum*, *Serratia* y *Xanthomonas* (García de Salome *et al.*, 2001). El espectro de citoquininas producidas por las rizobacterias es similar a las producidas por las plantas, de las cuales la isopenteniladenina, la trans-zeatina, la cis-zeatina y sus ribósidos son los más comunes (Frankenberger y Arshad, 1995).

Las citoquininas tienen la capacidad de inducir la división celular en las células vegetales en presencia de auxina. Las concentraciones elevadas de auxina promueven la diferenciación hacia la formación de raíces, mientras que cantidades altas de citoquininas inducen la morfogénesis de los brotes. Concentraciones equimolares promueven la proliferación celular (Taiz y Zeiger, 2006).

Las giberelinas están relacionadas fundamentalmente con la división y el alargamiento celular dentro del meristemo subapical, por lo cual estas moléculas tienen una función importante en el alargamiento de los internodos en los tallos. Otros procesos donde participa esta fitohormona son la germinación, el desarrollo del tubo polínico y la floración de las plantas en roseta. Como sucede en el caso de las auxinas y las citoquininas, las giberelinas actúan principalmente en combinación con otros reguladores (Azcón-Bieto y Talón, 2010).

Durante el proceso de germinación de las semillas almidonosas, el aumento de la concentración de giberelinas estimula la expresión de α -amilasa en la capa de aleurona. Esta enzima hidroliza las reservas de almidón y eleva la concentración de glucosa que necesita el embrión para obtener de energía metabólica mediante el proceso de respiración celular. El aumento en la concentración de ATP es indispensable para satisfacer las demandas de biosíntesis que se generan durante el proceso de germinación. Por otra parte, durante la oxidación de la glucosa en la glucólisis y en el ciclo de Krebs, se generan esqueletos carbonados para la biosíntesis del resto de las estructuras celulares (Taiz y Zeiger, 2006).

Las bacterias que producen giberelinas tienen la capacidad de secretar estos compuestos al medio. Entre los géneros y especies fundamentales están: *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum lipoferum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Clostridium*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Xanthomonas* (Tsavkelova *et al.*, 2006).

En trabajos realizados con un cultivo de *Rhizobium* aislado de nódulos de soya (*Glycine max* L.), se observó un aumento en la germinación de *Cicer arietinum* L., *Vigna aconitifolia* (Jacq.), *Phaseolus aureus* Roxb. y *Pisum sativum* L. con la aplicación de la solución bacteriana a las semillas de estos cultivos (Pawar *et al.*, 2014).

Conclusiones

Los microorganismos del suelo tienen funciones importantes en los agroecosistemas como la descomposición de la materia orgánica y en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Entre estos microorganismos las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas tienen un potencial elevado para el desarrollo de productos naturales de utilidad en la agricultura agroecológica, ya que éstas puede estimular el crecimiento a través procesos relacionados con la producción de reguladores del crecimiento como auxinas, citoquininas y giberelinas, la solubilización de minerales y la eliminación de otros microorganismos patógenos que afectan a los vegetales. El desarrollo de estos nuevos productos con estas propiedades constituye una alternativa a la agricultura convencional, basada en el uso extensivo de fertilizantes y pesticidas químicos que afectan al medio ambiente y constituyen un riesgo para la salud de hombre.

Bibliografía

AGRAWAL, P.K. Y JOHRI, B.N. Characterization of plant growth promoting rhizobacteria from rhizospheric soil of Himalayan region. Acta J. Biosci, no. 2, vol. 2, 2014, pp. 69-75.

AGRAWAL, P.K. Y AGRAWAL, S. Characterization of *Bacillus* sp. Strains isolated from rhizosphere of tomato plants (*Lycopersicon esculentum*) for their use as potential plant growth promotin rhizobacteria. Int. J. Curr. Microbiol. App Sci, no. 10. Vol. 2, 2013, pp. 406-417.

AGRAWAL, P.K., AGRAWAL, S., KUNDAN, R. Y BHATT, M. Application and perspective of plant growth promoting rhizobacteria in development of sustainable agriculture. Inter J of Curr Res, no. 10, vol., 2014, pp. 9044-9051.

AGRAWAL, P.K., KUNDA, R. Y AGRAWAL, S. Characterization of *Pseudomonas* sp. from rhizosphere of tomato plants (*Lycoerpsicon esculentum*) and its efficacy on plant growth promotion. Journal of Biological & Scientific Opinion, no.3, vol. 3, 2015, pp. 114-121.

ALMAGHRABI, O.A., ABDELMONEIM, T.S., ALBISHRI, H.M. Y TAREK, A.A. Moussa. Enhancement of Maize Growth Using Some Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Under Laboratory Conditions. *Life Sci J.*, no. 11, vol. 11, 2014, pp. 764-772.

AZCÓN-BIETO, M.J. Y TALÓN, R. Fisiología de las plantas y el estrés. In: *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Edicions Universitat Barcelona, 2000, pp. 481-499.

BISWAS, S., LAHIRI, P. Y DAS, S. A study on the role of a close homologue of *Bacillus cereus* isolated from *Metaphire posthuma* on germination of gram (*Cicer arietinum* L.) seeds for its use as biofertilizer. *Journal of Global Biosciences*, no. 4, vol. 3, 2014, pp. 708-713.

CADIRCI, B. Y CITAK, S. A comparación of Two Methods Used for Measuring Antagonistic Activity of Lactic Acid Bacteria. *Pakistan Journal of Nutrition*, no. 4, vol. 4, 2005, pp. 237-241.

CHANGAS-JUNIOR, A.F., DE OLIVEIRA, A.G., DE OLIVEIRA, L.A., DOS SANTOS, G.R., CHANGAS, L.F.B., LOPES DA SILVA, A.L. Y DA LUZ COSTA, J. Production of indole-3-acetic acid by bacillus isolated from different soils. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, no. 2, vol. 21, 2015, pp. 282-287.

CHOOKIETWATTANA K. Y MANEEWAN, K. Screening of efficient halotolerant phosphate solubilizing bacterium and its effect on promoting plant growth under saline conditions. *World Applied Science Journal*, no. 8, vol. 16, 2012, pp. 1110-1117.

DAS, A.J., KUMAR, M. Y KUMAR, R. 2013. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): An alternative of chemical fertilizer for sustainable, environment friendly agriculture. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, no. 4, vol. 1, 2013, pp. 21-23.

DASGUPTA, D., GHATI, A., SARKAR, A., SENGUPTA, CH. Y GOUTAM, P. Application of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) Isolated from the Rhizosphere of *Sesbania bispinosa* on the Growth of Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, no. 5, vol. 4, 2015, pp. 1033-1042.

DE FREITAS, J.R., BANERJEE, M.R. Y GERMIDA, J.J. Phosphate solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus*). *Biol and Fertil of Soils*, no. 84, vol. 24, 1997, pp. 358-364.

DEMISSIE, S., MULETA, D. Y BERECHA, G. Effect of phosphate solubilizing bacteria on seed germination and seedling growth of Faba bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Agricultural Research*, no. 3, vol. 8, 2013, pp. 123-136.

DIBUT, A.B. Y RODRÍGUEZ, A. Las biotecnologías hechas a la medida: un puente entre la biotecnología y la agroecología. Ejemplo de caso: Los biofertilizantes. Agricultura Orgánica, vol. 2, 2010, pp. 43-45.

ECORGANICA, 2009. Los microorganismos beneficios [En Línea] Disponible en: <http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-transitional.dtd>. Consulta: diciembre de febrero de 2018.

FLAISHMAN, M.A., EYAL, A., ZILBERSTEIN, C., VOISARD, C. Y HASS, D. Suppression of Septoriatrifici Blotch and leaf rust of wheat by recombinant cyanide producing strains of *Pseudomonas putida*. Mol Plant-Microbe Interact, no. 7, vol. 9, 1996, pp. 642-645.

FRANKENBERGER, W.T. Y ARSHAD, M. Phytohormones in soils. Marcel Dekker Inc, New York. 1995.

GARCÍA DE SALOME, I.E., HYNES, R.K. Y NELSON, L.M. Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. Can. J. Microbiol. Vol. 47, 2001, pp. 404-411.

GIASSIA, V., KIRITANI, C. Y KUPPER, K.C. Bacteria as growth-promoting agents for citrus rootstocks. Microbiological Research. Vol. 190, 2016, pp. 46-54. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/micres>.

GOMEZ, A.M.A., MARIANO R.L.R., SILVEIRA E.B. Y MESQUITA J.C.P. Isolamento, seleção de bactérias e efeito de *Bacillus* spp. na produção de mudas orgânicas de alface. Horticultura Brasileira. Vol. 21, 2003, pp. 701-705.

GOPALAKRISHNAN, S., SRINIVAS, V., ALEKHYA, G. Y PRAKASH, B. Effect of plant growth-promoting *Streptomyces* sp. on growth promotion and grain yield in chickpea (*Cicer arietinum* L). Biotech. Vol. 5, 2015, pp.799-806. DOI 10.1007/s13205-015-0283-8.

GROSU, A.I., SICUIA, O.A., DOBRE, A., VOAIDES, C. Y CORNEA, C. Evaluation of some *Bacillus* spp. strains for the biocontrol of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* in wheat. Agriculture and Agricultural Science Procedia. Vol. 6, 2015, pp. 559-566.

GUTIERREZ, M.F.J., ACERO, N., LUCAS, J.A. Y PROBANZA, A. The influence of native rhizobacteria on european alder *Alnus glutinosa* (L.) Gaertan growth. II. Characterization of growth promoting and growth inhibiting strains. Plant Soil. Vol. 182, 1996, pp. 67-74.

GWYN, A.B. Plant-associated bacteria: survey, molecular phylogeny, genomics and recent advances. Plant Assoc. Bact. 2006, 1-56.

HE, Y.K., XUE, W.X., SUN, Y.D., YU, X.H. Y LIU, P.L. Leafy head formation of the progenies of transgenic plants of Chinese cabbage with exogenous auxin genes. Cell Res. Vol. 10, 2000, pp. 151–602.

HIGA, T. Y WIDIDANA, G.N. 1991. The concept and theories of effective microorganisms. p. 118-124. In Parr, S.B. Hornick, and C.E. Whitman (ed.) Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.

HIGA, T. 2004. La Tecnología de los Microorganismos-efectivos “EM “.Conferencia dictada por el Profesor Teruo Higa en el Real Colegio de Agricultura. Cirencester, Inglaterra.

IGNATOVA, L., BRAZHNIKOVA, Y., BERZHANOVA, R. Y MUKASHEVA, T. 2015. The effect of application of micromycetes on plant growth, as well as soybean and barley yields. Acta Biochimica Polonica. 62 (4): 669-675).

ISLAM, S., AKANDA, A.M., PROVA, A., ISLAM, M.T. Y HOSSAIN, M.M. Isolation and Identification of Plant Growth Promoting Rhizobacteria from Cucumber Rhizosphere and Their Effect on Plant Growth Promotion and Disease Suppression. Front. Microbiol, no. 1360, vol. 6, 2016, pp. 1-12.

JAMIL, M., ZEB, S., ANEES, M., ROOHI, A., AHMED, I., REHMAN, S. Y RHA, E.S. 2014. Role of *Bacillus licheniformes*. Phytoremediation of Nickel Contaminated Soil Cultivated with Rice. International Journal of Phytoremediation, no. 6, vol. 16, 2014, pp. 554-571.

KENNEDY, L.R., PEREG-GERK, C., WOOD, R., DEAKER, K., GILCHRIST, K. Y KATUPITYA, S. Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crops: facilitating the evolution of an effective association between *Azospirillum* and wheat. Plant Soil. Vol. 194, 1997, pp. 65-79.

KHATAB, O.H., NASIB, M.A.A., GHONEIMY, E.A., ABO-ELNASR, A.A., HASSAN, H.A-A, HASSAN, M.Y.A. & ATTITALLA, I.H. Role of Microorganisms in our life's as ecofriendly and replacement for chemical methods. Int. J. Pharm. Life Sci., no. 2, vol. 6, 2015, pp. 4221-4229.

KLOPPER, J.W., LIFSHITZ, R. Y ZABLOTOWICZ, R.M. Free living bacterial inocula for enhancing crop productivity. Trends in Biotechnol, no. 82, vol. 7, 1989, pp. 39-44.

LATOUR, X., CARBERAND, T., LAGURRE, G., ALLAND, F. Y LEMANCEU, P. The composition of fluorescent *Pseudomonas* population associated with roots is influenced by plant and soil type. Appl Environ Microbiol. Vol. 62, 1996, pp. 2449-2456.

MARTÍNEZ-VIERA, R. Y DIBUT-ÁLVAREZ, B. 2012. Biofertilizantes bacterianos. Editorial Científico-Técnica, La Habana, ISBN 978-959-05-0659-8.

NGHIA, N.K., TIEN, T.T.M., OANH, N.T.K. Y NUONG, N.H.K. Isolation and characterization of indole acetic acid producing halophilic bacteria from salt affected soil of rice–shrimp farming system in the Mekong Delta, Vietnam. Agriculture, Forestry and Fisheries, no. 3, vol. 6, 2017, pp. 69-77.

OLLE, M. 2015. Influence of Effective Microorganisms on the growth and nitrate content of vegetable transplants. Journal of Advanced Agricultural Technologies, no. 1, vol. 2, 2015, pp. 25-28.

PAWAR, V.A., PAWAR, P.R., BHOSALE, A.M. Y CHAVAN, S.V. Effect of *Rhizobium* on seed germination and growth of plants. Journal of Academia and Industrial Research (JAIR), no. 4, vol. 3, 2014, pp. 84-88.

PEÑA-BORREGO, M.D., DE ZAYAS-PÉREZ, M.R. Y RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, R.M. La producción científica sobre biofertilizantes en Cuba en el período 2008-2012: un análisis bibliométrico de las revistas cubanas. Cultivos Tropicales, no. 1, vol. 36, 2015, pp. 44-54.

RAMÍREZ, M., ROVEDA, G., BONILLA, R., CABRA, L., PEÑARANDA, A. Y LÓPEZ, M. Uso de microorganismos con potencial como biofertilizantes en el cultivo de mora, 1ª Ed. Editorial Produmedios, Bogotá, Colombia. 2008, pp. 34-35.

RENWICK, A., CAMPBELL, R. Y COC, S. Assessment of in vivo screening systems for potential biocontrol agents of *Gaeumannomyces graminis*. Plant Pathol, no. 4, vol. 40, 1991, pp. 524-532.

ROMERO, I. 2006. Diversidad y función de las Pirofosfatasas de Bacterias Fotosintéticas Púrpura No Sulfurosas. XXVI Congreso Nacional. Sociedad Mexicana de Bioquímica. Vía on line: <http://www.smb.org.mx/XXVICONGRESO/text/ResumenInvitados/IrmaRomero> Consulta: marzo de 2017.

SAINTMARTIN, R. 2007. Microorganismos efectivos EM, Que son. [En Línea] Disponible en: <http://www.emyucatan.com> Consulta realizada el 21 de diciembre de 2017.

SANTNER, A., CALDERON-VILLALOBOS, L. Y ESTELLE, M. 2009. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. Nature Chem. Biol. Vol. 5, 2009, pp. 301-307.

SAXENA, J., RAWAT, J. Y SANWAL, P. Enhancement of growth and yield of *Glycine max* plants with inoculation of phosphate solubilizing fungus *Aspergillus niger* K7 and

biochar amendment in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2016. DOI: 10.1080/00103624.2016.1243708.

SCHLATTER, D., FUBUH, A., XIAO, K., HERNANDEZ, D., HOBBIE, S. Y KINKEL, L. Resource Amendments Influence Density and Competitive Phenotypes of *Streptomyces* in Soil. *Microbial Ecology*. Vol. 57, 2009, pp. 413-420.

SHARON, J.A., HATHWAIK, L.T., GLENN, G.M., IMAM, S.H. Y LEE, C.C. Isolation of efficient phosphate solubilizing bacteria capable of enhancing tomato plant growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, no. 2, vol. 16, 2016, pp. 525-536.

STRÖM, K. 2005. *Fungal Inhibitory Lactic Acid Bacteria*. (Doctoral Thesis on Agricultural Sciences). Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Swedish University. Uppsala.

TAIZ, L. Y ZEIGER, E. 2006. *Plant Physiology*, 4th Ed. Sin Auer, Sunderland, M. A. 660 p.

TSAVKELOVA, E.A., KLIMOVA, S.Y., CHERDYNTSEVA, T.A. Y NETRUSOV, A.I. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: a review. *Appl. Biochem. Microbiol*. Vol. 42, 2006, pp. 133-143.

ULLAH, F., BANO, A. Y NOSHEEN, A. Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *Journal of Botany*, vol. 44, 2012, pp. 1873 - 1880.

VAN LOON, L.C. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *Eur. J. Plant Pathol*. Vol. 119, 2007, pp. 243-254.

VISSER, R., HOLZAPFEL, W., BEZUIDENHOUT, J. Y KOTZÉ, J. Antagonism of lactic acid bacteria against phytopathogenic bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, no. 3, vol. 52, 1986, pp. 552-555.

WOODWARD, D. 2003. *Soil and Sustainability Effective Microorganism as Regenerative Systems in Earth Healing*. Disponible en: <http://p2pays.net/compost/CompostTea/SoilandSustainability.pdf>. Consulta: febrero de 2018.

ZAHIR Z.A, ARSHAD, M. Y FRANKENBERGER, W.T. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Adv. Agron*. Vol. 81, 2003, pp. 97-168.

ZHOU, Q., LI, K., JUN, X. Y BO, L. 2009. Role and functions of beneficial microorganisms in sustainable aquaculture. *Bioresource Technology*. Vol. 100, 2009, pp. 3780-3786.



CD Monografías 2018
(c) 2018, Universidad de Matanzas
ISBN: 978-959-16-4235-6