

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL Y
VERMICOMPOST, ALTERNATIVAS SOSTENIBLE PARA LA
PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) Y CHILE (*Capsicum
annuum* L.)

Tesis

Que presenta BERNARDO ESPINOSA PALOMEQUE

como requisito para obtener el Grado de

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

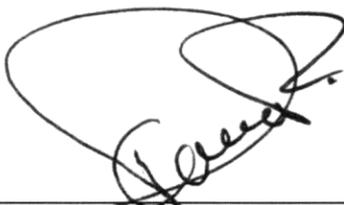
Torreón, Coahuila, México

Marzo 2020

RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL Y
VERMICOMPOST, ALTERNATIVAS SOSTENIBLE PARA LA
PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) Y CHILE (*Capsicum
annuum* L.)

Tesis

Elaborada por BERNARDO ESPINOSA PALOMEQUE como requisito parcial para
obtener el grado de Doctor en Ciencias Agrarias con la supervisión y aprobación del
Comité de Asesoría



Dr. Pedro Cano Ríos
Asesor Principal



Dr. Pablo Preciado Rangel
Asesor



Dr. José Luis Reyes Carrillo
Asesor



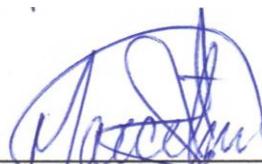
Dra. Lilia Salas Pérez
Asesor



Dr. Jorge Sáenz Mata
Asesor



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de realizar los estudios de postgrado con el proyecto de investigación “Evaluación de tomate con rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal PGPR en compost+perlita+arena bajo condiciones de invernadero, con clave: 38111-425608002-2855.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para estudios de doctorado.

A mis asesores, los doctores: Pedro Cano Ríos, Pablo Preciado Rangel, Jose Luis Reyes Carrillo, Lilia Salas Pérez, Jorge Sáenz Mata, por compartir sus conocimientos, observaciones, enseñanzas, sugerencias, paciencia, confianza y sobre todo por la amistad recibida.

A Esther Peña Revuelta, por la atención brindada durante mi estancia en el postgrado de la Unidad Laguna.

Para todas aquellas personas que en este escrito estoy excluyendo, no es por ingratitud, sino por falta de memoria y espacio, sinceramente les agradezco todo su apoyo.

DEDICATORIA

A mis padres

A mis hermanos

A mi esposa

A mis hijos

CARTA DE ACEPTACIÓN DE LOS ARTÍCULOS

Biotecnia

Revista editada por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad de Sonora

Hermosillo, Sonora. A 14 de enero de 2019

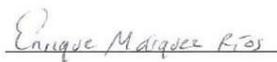
Dr. José Luis Reyes Carrillo

P r e s e n t e

Estimado Dr. Reyes

En relación a su artículo “Eficiencia de *Bacillus paralicheniformis* y *Pseudomonas lini* con fertilización inorgánica reducida sobre la producción y actividad antioxidante de tomate”, escrito por Bernardo Espinosa Palomeque, Pedro Cano Ríos, Lilia Salas Pérez, José Luis García-Hernández, Pablo Preciado Rangel, Jorge Sáenz Mata y José Luis Reyes Carrillo, es un gusto comunicarle que su artículo **ha sido aceptado** para su publicación.

Aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.



Dr. Enrique Márquez Ríos

Editor en Jefe

c. c. p. Dra. Miroslava Suárez Jiménez. Secretaria del Comité Editorial

Dirección electrónica: <http://biotecnia.unison.mx>

Correo electrónico: biotecnia@ciencias.uson.mx



TERRA LATINOAMERICANA

*Difusión Científica de la Sociedad Mexicana
de la Ciencia del Suelo A.C.*

Dr. Pablo PreciadoRangel

Presente

Por este conducto **HAGO CONSTAR** que el manuscrito intitulado:

**Vermicompost on the production and nutraceutical quality of jalapeño
pepper fruits (*Capsicum annuum* L.)**

cuyos autores son:

**Bernardo Espinosa Palomeque, Pedro Cano Ríos, Lilia Salas-Pérez, Gabriela González
Rodríguez, Arturo Reyes González, Alma Velia Ayala Garay y Pablo Preciado Rangel**

fue **ACEPTADO PARA PUBLICARSE** en la **Revista Terra Latinoamericana**.

Para los fines que al interesado convengan, se emite la presente **CONSTANCIA**, en la
Ciudad de La Paz, capital del estado de Baja California Sur a los once días del mes de
noviembre de dos mil diecinueve.

Atentamente

Dr. Bernardo Murillo Amador

Editor en Jefe

Revista Terra Latinoamericana

<http://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra>

ISSN 2395-8030.

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2012-092017263600-203

<LA REVISTA TERRA LATINOAMERICANA SE ENCUENTRA EN EL INDICE DE REVISTAS DEL CONACYT>

Oficinas ubicadas en el Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-
Texcoco km 38.5 Apartado Postal 45, Estado de México Tel. 595 952-17-21. E-mails Editor en Jefe:
bmurillo04@cibnor.mx; editor@terralatinoamericana.org.mx

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades antropogénicas que aportan contaminantes al medio ambiente (Vejan *et al.*, 2016). El sistema de producción de los cultivos agrícolas es un factor crítico que influye en el rendimiento y la calidad de los frutos. Una mayor productividad de los cultivos en campo o agricultura protegida depende del suministro de agroquímicos, principalmente fertilizantes sintéticos, los cuales impactan negativamente la salud humana y a los recursos suelo y agua (Creus, 2017). Ante esta situación, existe el creciente interés tanto de los investigadores y productores en la búsqueda de sistemas de producción sostenible (Buragohain *et al.*, 2017). Para reducir el suministro de fertilizantes sintéticos y así contribuir a la conservación del ambiente, se ha propuesto el uso de bioinoculantes base microorganismos rizosféricos, en los cuales se encuentran las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), por sus siglas en inglés [RPCV, “plan growth promoting rhizobacteria” (Kloepper y Schroth, 1978)] y abonos orgánicos como el vermicompost (Cabanillas *et al.*, 2013). La aplicación bioinoculantes base RPCV también llamados dependiendo del modo de acción: i) biofertilizantes, ii) bioestimulantes y iii) bioprotectores; estimulan el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas, mediante la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfatos, la producción de fitohormonas y la producción de enzimas hidrolíticas que actúan como control biológico, producción de polisacáridos extracelulares, resistencia sistemática inducida y/o adquirida (Arora *et al.*, 2017; Tabassum *et al.*, 2017). El objetivo de esta investigación fue evaluar dos RPCV (*Bacillus paralicheniformis* y *P. lini*) inoculadas individual y co-inoculadas con dos concentraciones de solución nutritiva 75 y 100 % sobre la productividad y calidad de tomate en condiciones de invernadero y evaluar diferentes proporciones de vermicompost: arena sobre el rendimiento y calidad nutracéutica de frutos de chile, desarrollado bajo condiciones de invernadero.

REVISIÓN DE LITERATURA

Rizósfera

La rizósfera es la estrecha zona de suelo rica en nutrientes que rodea el sistema radicular de las especies vegetales donde se producen procesos biológicos y ecológicos complejos, es un hábitat muy favorable para la proliferación de microorganismos que prosperan en los exudados (azúcares, aminoácidos y otros metabolitos secundarios) que son absorbidos como nutrientes por los microorganismos del rizodepósitos, que ejercen un impacto significativo sobre la salud de las plantas y la fertilidad del suelo (Bais *et al.*, 2006; Ahmed *et al.*, 2017; Tabassum *et al.*, 2017), fue descrita por primera vez por Lorenzo Hiltner en el año 1904 (Hartmann *et al.*, 2008) proviene del griego etimológicas (Gr.) *rhiza* (raíz) y *sphere* (entorno) y se subdivide espacialmente: endorizósfera (espacio intercelular entre los tejidos radicales colonizado por microorganismos y se aíslan después de la esterilización superficial de la raíz), ectorizósfera (compartimento de suelo asociado a la raíz hasta una distancia de cinco milímetros) y el rizoplano (interfaz suelo/raíz) (Narula *et al.*, 2009; Noumavo *et al.*, 2016). La rizósfera es un sistema abierto altamente dinámico con cambios temporales y espaciados por factores bióticos (resultado de cambios fisiológicos y morfológicos del sistema radical en crecimiento) y abióticos (lluvia, riego, sequía). Por tanto, es difícil comprender las adaptaciones microbianas a cada situación en particular (Spaepen *et al.*, 2009). Las funciones biológicas del sistema radical de las plantas, como la absorción, la respiración y la exudación, tienen efectos sobre la rizósfera, modificando las condiciones biogeoquímicas del suelo (p. ej.: concentraciones de elementos nutritivos, contaminantes, compuestos complejantes y quelatantes, pH, potencial redox, presiones parciales de oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂), entre otros (Gianfreda, 2015).

Por otra parte, gran número de microorganismos como bacterias, protozoarios, nematodos y hongos coexisten en la rizósfera, siendo las bacterias las más abundante (Weston *et al.*, 2012). Los microorganismos que colonizan la rizósfera pueden clasificarse en función de sus efectos sobre las plantas y forma de interactuar con las raíces, siendo algunos patógenos y otros benéficos (Saharan y Nehra, 2011). Los microorganismos presentes en la rizósfera son esenciales debido a que juegan un papel muy importante en la transformación de nutrientes y pueden producir fitohormonas, asimismo sus actividades metabólicas sumada a las de la fauna

del suelo, promueven la salud del dicho recurso natural y la productividad de los cultivos (Creus, 2017). Las interacciones entre planta y raíz en la rizósfera pueden incluir las interacciones raíz – raíz, raíz – insecto y raíz – microorganismo, lo que resulta en la producción de más exudados de las raíces que finalmente favorecen significativamente a las poblaciones microbianas en esta región ecológica (Figura 1) (Calvo *et al.*, 2014). Los microorganismos que provocan efectos positivos en las plantas o participan en algunas de las interacciones benéficas de raíz – microorganismo se encuentran las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, y de éstas las más estudiadas son las rizobacterias (López *et al.*, 2015; Tabassum *et al.*, 2017), estas bacterias colonizan principalmente las raíces, ya que los exudados de hasta el 40 % del fotosintato de las raíces de las plantas establecen un nicho ecológico (Kai y Piechulla, 2009). Los siguientes procesos deben recibir una adecuada interpretación para lograr una mejor comprensión para una mejor adaptación de la rizosfera, (i) los diversos factores involucrados en la movilización de los nutrimentos minerales para mejorar su eficiencia de absorción; (ii) promoción del crecimiento de la raíz por una gran diversidad de rizobacterias; y (ii) disminución o prevención de las enfermedades por microorganismos antagonistas en relación con el estado del micronutriente (Römheld y Neumann, 2006).

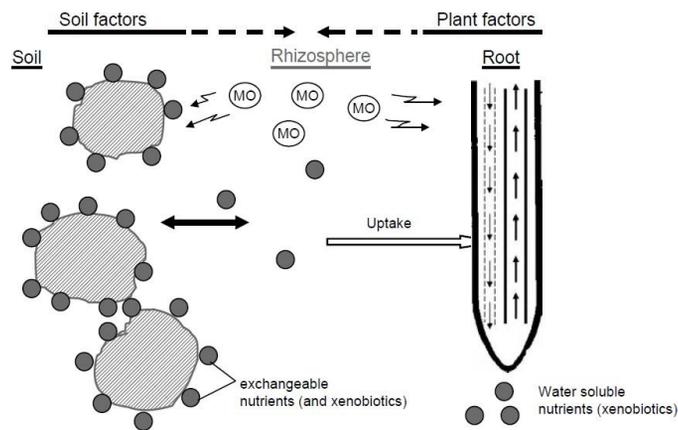


Figura1. Interacción de los microorganismos (MO) con los factores del suelo y las raíces de las plantas en la rizósfera en la absorción de nutrimentos minerales y xenobióticos (Römheld y Neumann, 2006).

Bioinoculantes

El uso indiscriminado y la gran creciente dependencia a los fertilizantes sintéticos en los sistemas de producción de los cultivos agrícolas causan deterioro de las propiedades físicas y

químicas del suelo, además tienen un impacto variable en la composición y las funciones de la microbiota del suelo (Camelo-Rusique *et al.*, 2017). El uso excesivo de fertilizantes inorgánicos ha mostrado un impacto negativo en la productividad de los cultivos, la contaminación del suelo y del agua, la susceptibilidad de los cultivos a fitopatógenos y, en última instancia, a la pérdida de la economía (Zaidi *et al.*, 2015). En general, entre el 60 y 90 % del fertilizante total aplicado se pierde y solo el 40 y 10 % restante es aprovechado por las plantas (Bhardwaj *et al.*, 2014). En este contexto, para mitigar los efectos adversos de los fertilizantes sintéticos el uso de bioinoculantes en la agricultura sea aumentado considerablemente durante las últimas dos décadas (Hayat *et al.*, 2010), éstos son a base de microorganismos aplicados con el fin de disminuir el suministro de fertilización sintética así como mitigar la contaminación generada por los agroquímicos (Figura 2) (Pii *et al.*, 2015). Diversos bioinoculantes a base de rizobacterias que estimulan el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos vegetales usualmente referidas como RPCV son utilizados comercialmente recibiendo diferentes nombres y asimismo tienen distintos mecanismos de acción: (i) bioprotectores, reducen los daños causados por patógenos; (ii) biofertilizantes, mejoran la adquisición de elementos nutritivos; (iii) bioestimulantes, producción de fitohormonas. Los mayores avances se han reportado con los bioprotectores y con los géneros: *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* y *Agrobacterium*, que se utilizan actualmente como agentes de control biológico por disminuir la incidencia de enfermedades en las plantas mediante la inducción de resistencia sistemática y la producción de sideróforos o antibióticos (Tjamos *et al.*, 2010).

La aplicación de inóculos bacterianos ofrece una opción para disminuir el suministro de fertilizantes inorgánicos y pesticidas ya que la mayoría de los aislamientos han reportado incrementos significativos en el crecimiento de las plantas, tanto en raíces y/o parte aérea (Khalid *et al.*, 2006). Cuando las RPCV son inoculan en las semillas antes de la siembra, son capaces de establecerse en las raíces de los cultivos (Saharan y Nehra, 2011). Algunas RPCV mejoran la salud de las plantas mediante el proceso denominado resistencia sistémica inducida (RSI), a través de la fortificación de la fuerza física y mecánica de la pared celular, así como cambio en la fisiología y bioquímica de la planta que estimulan la síntesis mecanismos de defensa a un amplio rango de agentes fitopatógenos e insectos herbívoros (Pieterse *et al.*, 2014).

En este mismo sentido la inducción de la RSI es a través de las vías de señalización del ácido jasmónico y del etileno (Reddy, 2014). Aunado a lo anterior, las cepas de las RPCV comercializadas incluyen *A. radiobacter*, *A. brasilense*, *A. lipoferum*, *Azotobacter chroococcum*, *B. fimus*, *B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. mucilaginous*, *B. pumilus*, *Bacillus* spp., *B. subtilis*, *B. subtilis* var. *amyloliquedaciens*, *B. cepacia*, *Delftia acidovorans*, *Paenobacillus macerans*, *Pantoea agglomerans*, *P. aureofaciens*, *P. chlororaphis*, *P. fluorescens*, *P. solanacearum*, *Pseudomonas* spp., *P. syringae*, *S. entomophilia*, *S. griseoviridis*, *Streptomyces* spp., *S. lydicus* y varias *Rhizobia* spp. (Glick, 2012). El uso de bioinoculantes compuestos de microorganismos benéficos, ya sean bioestimulantes, biofertilizantes o bioprotectores constituyen una alternativa biotecnológica cada vez más aceptada en los sistemas de producción sostenibles, tanto en cultivos extensivos como intensivos (Creus, 2017). Por lo tanto, el papel de los microorganismos en la agricultura sostenible ha proporcionado nuevos conocimientos sobre la economía agrícola, y uno de los beneficios directos es la menor dependencia a los fertilizantes y pesticidas sintéticos, lo cual es favorable debido a que la aplicación continua de estos productos inorgánicos no solo presentan efectos perjudiciales sobre los ecosistemas agrícolas sino también representan riesgos en la salud para humanos y animales (Mishra y Arora, 2016).

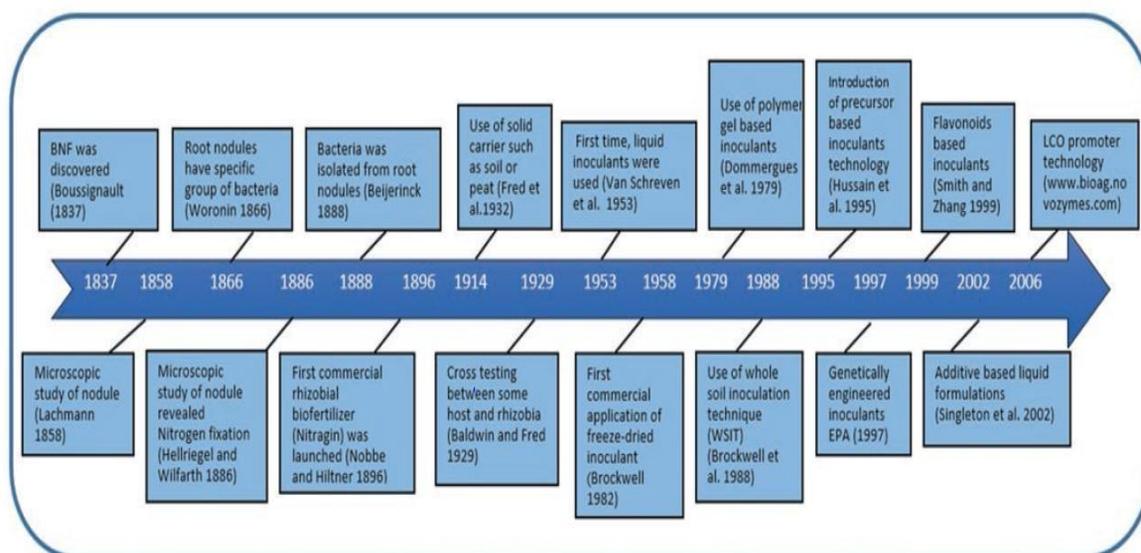


Figura 2. Línea del tiempo de los principales descubrimientos en el desarrollo de biofertilizantes a base de microorganismos rizosféricos (Arora *et al.*, 2017).

Los bioinoculantes, principalmente biofertilizantes mejorar significativamente el crecimiento de las plantas (Khalid *et al.*, 2006). Sin embargo, en condiciones de campo, los impactos beneficiosos de los biofertilizantes son inestables. Para poder cambiar lo anterior es fortalecer la colaboración científica con los fabricantes de biofertilizantes lo cual sería de gran beneficio para acelerar el desarrollo de biofertilizantes nuevos y eficaces. Si bien los investigadores estudian principalmente el desarrollo de nuevos productos a escala de laboratorio, el sector privado puede ayudar a abordar el problema de la ampliación industrial y la viabilidad económica de los biofertilizantes recientemente desarrollados. De esa manera, todos los parámetros requeridos (tales como selección de cepas, condiciones de cultivo, especificaciones para diferentes cultivos y mercados objetivos, así como consideraciones logísticas que podrían influir presentación final del biofertilizante) se considerarían en el desarrollo de nuevos inoculantes eficaces comercialmente viables. Los agricultores pueden comprar estos productos con confianza y comparar su utilidad y relación beneficio-costos con los insumos tradicionales de fertilizantes minerales y / u otras intervenciones de manejo en su sistema agrícola específico, condiciones edáficas y ambientales (Lesueur *et al.*, 2016).

De acuerdo a Singh y Singh (2012), quienes reportan en el cultivo de frijol de palo (*Cajanus cajan*) que con la inoculación dual de semillas con PSB + RPCV registró los rendimientos brutos máximos, los rendimientos netos y la relación beneficio/costó (3.23); significativamente superior a la inoculación con RPCV, PSB y control. Bioinoculantes microbianos evaluados en soya en invernadero, se obtuvo la mayor efectividad con la inoculación independiente o combinada de los tratamientos Cell-Tech y micorriza INIFAP. Los resultados de validación indicaron que los mayores rendimientos se registraron con la coinoculación de Cell-Tech y micorriza INIFAP, con o sin la fertilización inorgánica. El análisis económico mostró que la mayor rentabilidad (B/C= 1.8) de la producción de soya fue con la coinoculación en suelo no fertilizado (Díaz *et al.*, 2015). El análisis económico reveló que la aplicación de 75% de N de urea + 25% de N de PM + RPCV en el cultivo de maíz dio como resultado el mayor ingreso bruto, ingreso neto y beneficio/costo (3.23) en comparación con otros tratamientos. Sin embargo, los ingresos brutos y netos más bajos y beneficio/costo (1.03) se obtuvieron en el control (Zaman *et al.*, 2013). Según, Meena *et al.* (2014) la aplicación combinada de 2/3 de N + *Providencia* sp PW5 + *Anabaena* sp CR3 +compost dio la mayor rentabilidad neta y relación

beneficio/costo (1.99) en el cultivo de arroz (*Basmati rice*), debido a que los costos de las rizobacterias y las algas fueron bajos, lo que mantuvo el costo de cultivo bajo y, por lo tanto, aumentó el rendimiento neto y dio una mayor relación beneficio/costo. Los rendimientos netos máximos en el cultivo de coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis L.) se obtuvieron a través del tratamiento 75 % NPK + 50 % estiércol + 50 % vermicompost + RPCV con la relación beneficio/costo más alta de 3.36. Por lo tanto, se puede sugerir como un módulo de nutrientes rentable para obtener un mayor rendimiento y calidad con un 25% de ahorro neto de fertilizantes en cultivo de coliflor de forma sostenible (Thakur y Kumar, 2018). La inoculación de la cepa *B. paralicheniformis* más una fertilización reducida en un 25 % de la solución nutritiva universal de Steiner en el cultivo de tomate desarrollado en un medio de crecimiento arena de río y perlita (80:20, v:v) logro incrementar un 83 % el rendimiento, además de mejorar la calidad nutracéutica (compuestos fenólicos y capacidad antioxidante) en comparación al testigo, lo por tanto esta cepa puede tener un potencial para formular un bioinoculante, así contribuir a reducir la aplicación de fertilizantes sintéticos (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2019).

La asociación de bioinoculantes con fuentes de resulta beneficiosa y da como resultado un mayor crecimiento y rendimiento de las especies vegetales. La aplicación de las dosis recomendadas de fertilizante con la inoculación de semillas mediante bioinoculantes puede ser superior para obtener una mayor rentabilidad neta y una relación beneficio/costo en los sistemas de producción agrícolas (Mishra *et al.*, 2019). En términos de análisis de beneficio/costo de los bioinoculantes, es bien sabido que el efecto beneficioso de los bioinoculantes es multifacético y no resulta únicamente de una mejor absorción de nutrientes. Por lo tanto, puede no ser apropiado comparar el costo de la inoculación directamente con el costo de los aditivos de fertilizantes sintéticos que logran una respuesta de crecimiento equivalente en las plantas objetivo. De hecho, los beneficios de los aditivos sintéticos para el medio de crecimiento son de corta duración, a menos que se utilicen formulaciones de liberación lenta y, por lo tanto, no sean sostenibles en ecosistemas naturales o de bajos insumos. Si se comparan los aspectos económicos básicos de los costos relativos de los fertilizantes sintéticos versus los bioinoculantes, estos últimos serán poco más costosos a corto plazo (Sreedhar y Mohan, 2015).

Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

En la actualidad se ha incrementado el uso de bacterias que habitan en la rizósfera de las raíces las cuales estimulan el crecimiento y rendimiento de las especies vegetales (Wu *et al.*, 2005; Khalid *et al.*, 2006; Ashrafuzzaman *et al.*, 2009; Almaghrabi *et al.*, 2013). Es importante mencionar que los microorganismos rizosféricos son capaces de mejorar el proceso de absorción nutrimental de las plantas, su vigor y resistencia sistémica a diversos fitopatógenos, debido a su interacción con el metabolismo de las especies vegetales y la consiguiente detección de patrones moleculares asociados al patógeno, liberación de proteínas de resistencia y activación de su inmunidad inducida (Hipólito-Romero *et al.*, 2017). Las RPCV son capaces de colonizar las raíces de las plantas en cantidades significativas [10^5 - 10^7 unidades formadores de colonia por gramo de raíz fresca (Spaepen *et al.*, 2009)] y mejorar su crecimiento, de manera directa e indirecta, y poseen varios modos de acción complejos que interactúan entre sí para establecer relaciones benéficas (Minorsky, 2007; Camelo *et al.*, 2011). La promoción del crecimiento vegetal directa por las RPCV se puede derivar de la solubilización del fósforo, producción de reguladores de crecimiento, tales como auxinas, giberelinas (GAs), citoquininas e inhibidores de etileno, mediante la obtención de las actividades metabólicas de las raíces y/o mediante el suministro de nitrógeno fijado biológicamente (Spaepen *et al.*, 2009). La promoción indirecta del crecimiento de las plantas se efectúa cuando las RPCV producen sideróforos los cuales pueden solubilizar y quelar el hierro de la rizósfera y así de este modo inhiben el crecimiento de uno o más microorganismo fitopatógenos (Figura 3) (Caballero-Mellado, 2006; Ahmad *et al.*, 2008), de igual manera son capaces de producir y secretar enzimas hidrolíticas tales como quitinasas, β -glucanasa, deshidrogenasas, lipasas, fosfatasas, proteasas, hidrolasas, exo y endo-poligalacturonasas, pectinoliasas, celulasas y ACC-desaminasa las cuales se ha demostrado ser eficaces como agente de control biológico al degradar la pared celular de los patógenos (Noumavo *et al.*, 2016; Vejan *et al.*, 2016). Además algunas RPCV tienen, también una función en la degradación de contaminantes orgánicos que podrían aumentar la fertilidad del suelo (Saharan y Nehra, 2011). Los microorganismos rizosféricos aceleran el proceso de degradación produciendo una amplia gama de enzimas hidrolíticas (p. ej.: ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico “ACC” o ACC desaminasa) cuales disminuyen la concentración de etileno en la planta e incrementa la disponibilidad de amonio (NH_4^+) en la

rizosfera, así ayudan a la restauración ecológica de sitios contaminados (Figura 4) (Esquivel-Cote *et al.*, 2013; Mishra *et al.*, 2017).

Modo de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal

Existen diferentes mecanismos utilizados por las RPCV para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas en diversas condiciones ambientales. En general, las RPCV funcionan como biofertilizantes, bioestimuladores y bioprotectores, los mecanismos pueden ser directos o indirectos (Figura 5) (Tjamos *et al.*, 2010; Nadeem *et al.*, 2013; Goswami *et al.*, 2016).

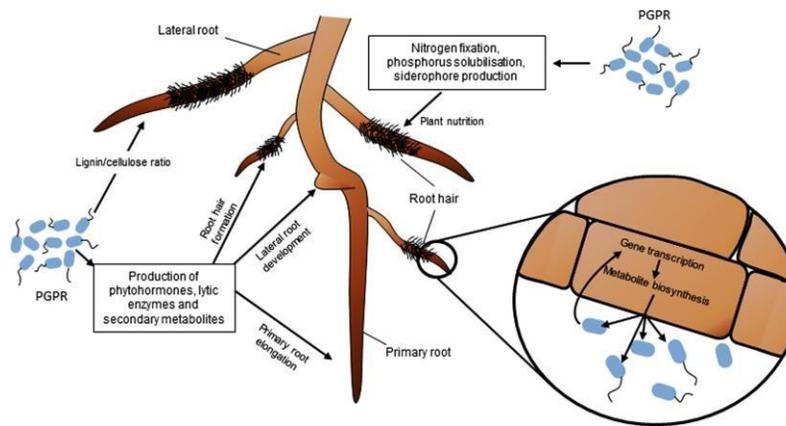


Figura3. Modo de acción utilizado por las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal hacia la promoción del crecimiento en las plantas (Vejan *et al.*, 2016).

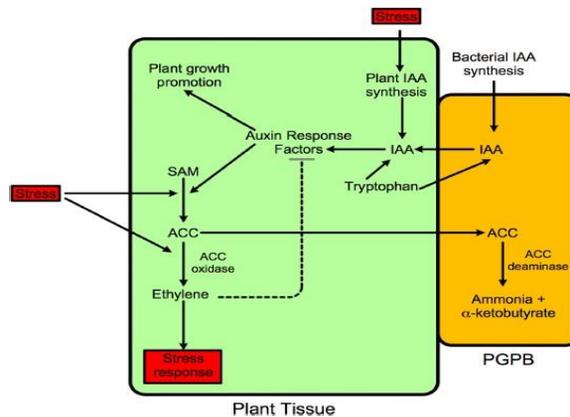


Figura 4. Estimulación del crecimiento de las plantas por las RPCV que contienen ACC desaminasa. El estrés aumenta tanto el AIA como la síntesis de etileno dentro de la planta, lo que en última instancia disminuye el crecimiento de las planta. Con las RPCV que contienen ACC desaminasa, los niveles de etileno se disminuyen, lo que contrarresta parte de la inhibición del crecimiento que causa el aumento del etileno (Olanrewaju *et al.*, 2017).

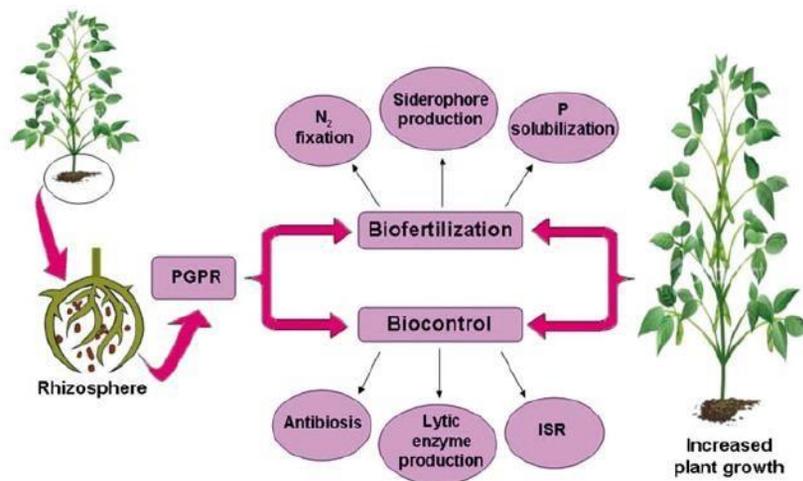


Figura 5. Mecanismos de acción conocidos para la promoción del crecimiento de las plantas por RPCV. Diferentes mecanismos pueden ser ampliamente estudiados: (1) biofertilización, y (2) biocontrol de fitopatógenos. La biofertilización abarca: (a) fijación de N_2 , (b) producción de sideróforos, (c) solubilización P inorgánica. El control biológico implica: (a) antibiosis, (b) secreción de enzimas líticas, y (c) resistencia sistemática inducida (RSI) (Kuman *et al.*, 2011).

Fijación biología de nitrógeno

El nitrógeno (N) es uno de los elemento esencial más importantes para el crecimientos de las plantas; es indispensable para la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas, clorofila, coenzimas, fitohormonas y metabolitos secundarios. Alrededor del 1 – 5 % de la materia seca total de la planta consiste en N (Hawkesford *et al.*, 2012). Lamentablemente no hay especies de plantas que sean capaz de convertir el nitrógeno atmosférico (N_2) a NH_4^+ (Das *et al.*, 2013). Por lo tanto las plantas dependen de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) que se define como la conversión de N_2 a NH_4^+ , compuesto químico del N que puede ser utilizado por la planta, la FBN se consigue mediante la enzima denominada nitrogenasa de molibdeno, que se encuentre en todos los diazótrofos (Ahemad y Kibret, 2014). De hecho, la FBN representa aproximadamente dos tercios del N fijado a nivel mundial, mientras que el resto del N es aportado principalmente por el proceso industrial Haber-Bosch (Rubio y Ludden, 2008), el cual consiste en hacer reaccionar las sustancias elementales N_2 , e hidrógeno (H_2), a alta temperatura, alta presión y en presencia de un catalizador (Sosa, 2015). Dada la volatilidad (y la tendencia

general a la alza) de los precios del petróleo y los intentos mundiales de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso agrícola de N que contienen los fertilizantes sintéticos producidos por el proceso Haber-Bosch, la FBN podría ser una alternativa en la sustitución de los fertilizantes inorgánicos en los sistemas de producción de cultivos no leguminosos (James y Baldani, 2012).

La fijación biológica de nitrógeno se lleva a cabo en bacterias asociadas a plantas y en bacterias de vida libre, que están ampliamente distribuidas en la naturaleza (Figura 6) (Molina *et al.*, 2015). Los microorganismos fijadores de nitrógeno se clasifican en general como: (a) bacterias fijadoras de N₂, incluyendo miembros de la familia rhizobiaceae que forman simbiosis con plantas leguminosas (por ejemplo, rizobios) y actualmente incluyen más de 50 especies distribuidas en los géneros *Rhizobium*, *Ensifer*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium* y *Bradyrhizobium* (Ahemad y Khan, 2010; Velázquez *et al.*, 2010) y árboles no leguminosos (p. ej., *Frankia*) y (b) formas fijadoras de N no simbióticas (vida libre, asociativa y endófitas) tales como cianobacterias (*Anabaena*, *Nostoc*), *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Gluconoacetobacter diazotrophicus* y *Azocarus*, etcétera (Bhattacharyya y Jha, 2012; Das *et al.*, 2013). La fijación biológica de N ocurre cuando es catalizado por la enzima nitrogenasa sensible al oxígeno, presente dentro de las bacterias (Figura 7), mediante la siguiente reacción (Bhattacharjee *et al.*, 2008):

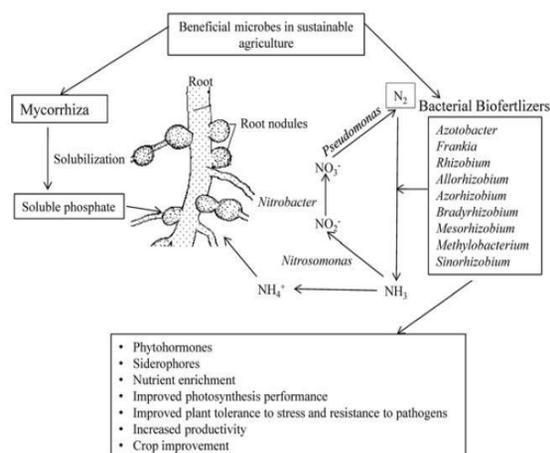
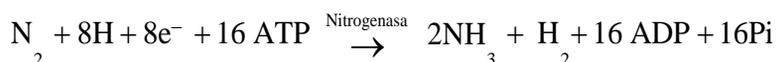


Figura6. Uso potencial de microorganismos del suelo en la producción sostenible de cultivos agrícolas (Bhardwaj *et al.*, 2014).

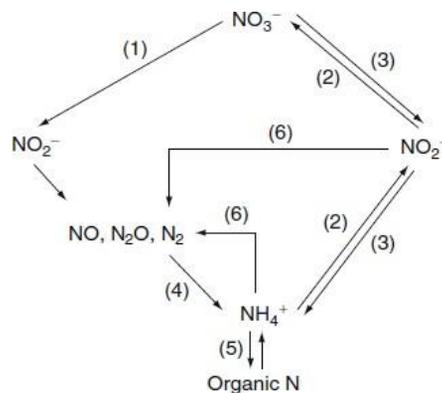


Figura 7. Ciclo biológico del nitrógeno. El nitrógeno se puede transformar en diferentes formas químicas por los microorganismos, que van desde el estado de oxidación +5 (NO_3^-) y -3 (NH_4^+). Las diferentes reacciones, llevadas a cabo por diferentes grupos de microorganismos bajo diferentes condiciones ecológicas, se indican por los números: (1) desnitrificación, (2) nitrificación, (3) asimilación y reducción asimilable de nitrato, (4) fijación biológicas de nitrógeno, (5) amonio asimilable y (6) oxidación anaeróbica de NH_4^+ . Los procesos (1), (3) y (4) requieren un donador de electrones, mientras que el proceso (2) requiere receptor de electrones. NO_3^- y NH_4^+ son las principales formas de nitrógeno que las plantas pueden usar fácilmente (Spaepen *et al.*, 2009).

Biosolubilización de fosfatos

El papel de los microorganismos rizosféricos en la solubilización de fosfato se remonta al año 1903 (Khan *et al.*, 2007). La mayoría de los suelos agrícolas contienen grandes reservas de P, que se han acumulado principalmente como consecuencia de las aplicaciones regulares de fertilizantes. En suelos ricos en P, la mayor parte del P no está disponible para las plantas, debido a que se encuentra en su forma insoluble (Castagno *et al.*, 2011). Además el 75 % de los fertilizantes fosfatados solubles añadidos a los cultivos pueden convertirse en forma poco soluble por reacción con los iones Ca^{2+} libres en suelos alcalino de alto pH o con Fe^{3+} o Al^{3+} en suelos ácido de pH bajo (Hariprasad y Niranjana, 2008). El P solo es asimilable en la forma monobásica: $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ y dibásica: HPO_4^{-2} , compuestos disponibles para las plantas, aunque en condiciones de campo comúnmente se mantienen en bajas concentraciones (Vessey, 2003). Las RPCV pueden utilizarse para transformar el P insoluble, presente en el suelo, en una forma asimilable, para lograr incrementar los rendimientos de las especies vegetales (Figura 8) (Rodríguez *et al.*, 2006; Jha *et al.*, 2008). Las bacterias solubilizan fosfato al producir ácidos

orgánicos como son ácido cítrico, láctico, succínico y glucónico (la acidificación libera los fosfatos y cationes de Ca^{2+} , Fe^{3+} y Al^{3+} al suelo) (Hariprasad y Niranjana, 2008). También se puede solubilizar el fosfato por medio de las enzimas fitasa o C-P linasa que presentan algunos microorganismos (Richardson, 2001). Otra forma de realizar la solubilización del fosfato orgánico a inorgánico, es por medio de la enzima fosfatasa, la cual hidroliza los enlaces orgánicos fosfatados liberando aniones fosfato a la solución del suelo de donde los microorganismos y las raíces de las plantas se nutren (Pérez *et al.*, 2007). La liberación de las formas solubles a partir de fósforo mineral, se realiza con la producción de ácido orgánicos como el ácido glucónico o 2-ceto-glucónico, la bioproducción de estos ácidos depende de la fuente de carbono (C) disponible en la rizósfera (Ahemad y Khan, 2012). Los géneros bacterianos capaces de solubilizar fosfato son: *Aereobacter*, *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Microbacterium*, *Serratia*, *Beijerinckia*, así como las especies: *A. chroococcum*, *B. circulans*, *Cladosporium harbarum*, *Bradyrhizobium japonicum*, *E. agglomerans*, *P. putida*, *P. chlororaphis*, *R. leguminosarum* (Rodríguez y Fraga, 1999; Díaz *et al.*, 2001; Molina *et al.*, 2015).

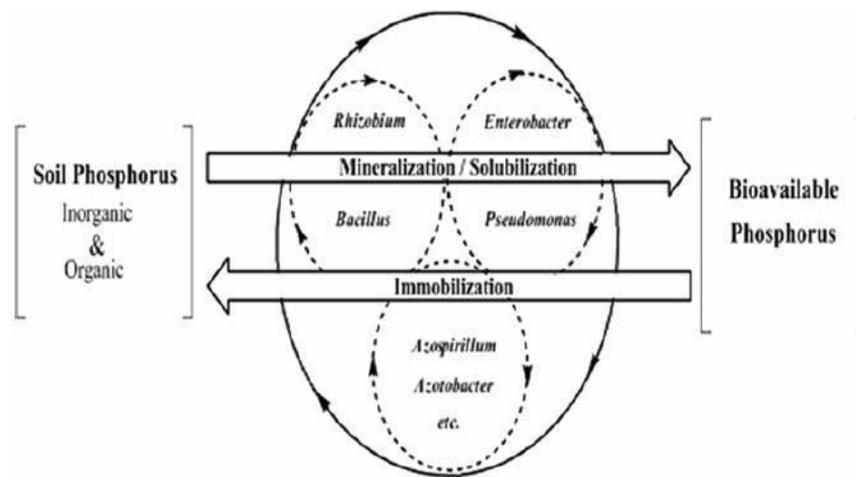


Figura8. Movilización e inmovilización del fosforo del suelo por las rizobacterias (Khan *et al.*, 2009).

Producción de fitohormonas

Las fitohormonas vegetales son mensajeros químicos que afectan la capacidad de respuesta de las plantas a su ambiente, son compuestos orgánicos eficaces a muy baja concentración, por

lo general son sintetizados en una parte de la planta y son transportados a otra parte. Interactúan con tejidos específicos para causar respuestas fisiológicas, tales como crecimiento o maduración de los frutos. Cada respuesta es a menudo el resultado de dos o más fitohormonas que actúan juntas. Las fitohormonas estimulan o inhiben el crecimiento de plantas, debido a esto también son nombradas reguladores del crecimiento, se reconocen principalmente cinco grupos: auxinas, citoquininas, giberelinas, etileno y el ácido abscísico (Saharan y Nehra, 2011). Estas fitohormonas están involucradas en el crecimiento y desarrollo de las plantas en virtud de su efecto. Las auxinas se involucran principalmente en el aumento de células, las citoquininas en la división celular y las giberelinas en el alargamiento del tallo estimulando la división celular y el alargamiento celular, mientras que el etileno y el ácido abscísico en la maduración de frutos y senescencia de las plantas (Khalid *et al.*, 2006).

La bioestimulación es considerada el mecanismo más estudiado de las RPCV (Lugtenberg y Kamilova, 2009), las fitohormonas tal como las auxinas [principalmente ácido indolacético (AIA)], ácido giberélico y citoquininas producidas por las RPCV pueden alterar la arquitectura de las raíces y promover el desarrollo de las plantas (Kloepper *et al.*, 2007; Tjamos *et al.*, 2010; Nadeem *et al.*, 2013). El AIA es la auxina más estudiada, producida por las rizobacterias, la cual afecta la división, extensión y diferenciación celular de las plantas; estimula la germinación de semillas y tubérculos; incrementa la tasa de desarrollo del xilema y raíces; controla los procesos de crecimiento vegetativo; inicia la formación de raíces laterales y adventicias, mediante las respuestas a la luz, la gravedad y fluorescencia; además afecta a la fotosíntesis, la formación de pigmento, la biosíntesis de diversos metabolitos y la resistencia a condiciones estresantes (Tsavkelova *et al.*, 2006). Es sintetizado por diversa vías metabólicas en función de la bacteria a partir del triptófano también presente en los exudados de las raíces (Camelo *et al.*, 2011). En general, el AIA bacteriano aumenta el área superficial y la longitud de la raíz, y por lo tanto proporciona a la planta un mayor acceso a los elementos nutritivos del suelo. Además, el AIA bacteriano ablanda las paredes celulares de las plantas y, como resultado, facilita una cantidad creciente de exudación de la raíz que proporciona elementos nutritivos adicionales para soportar el crecimiento de las bacterias en la rizósfera (Glick, 2012). Los organismos capaces de sintetizar el AIA son *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Mycobacterium*, *Microbacterium*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Shingomonas* y *Xanthomonas* (Tsavkelova *et al.*,

2007; Jha *et al.*, 2008). Estos géneros sintetizan el AIA, principalmente por la vía de indol-3-ácido pirúvico, la indol 3-acetonitrilo, la triptamina y la del indol-3-acetamida (Figura 9) (Castagno *et al.*, 2011; Molina *et al.*, 2015).

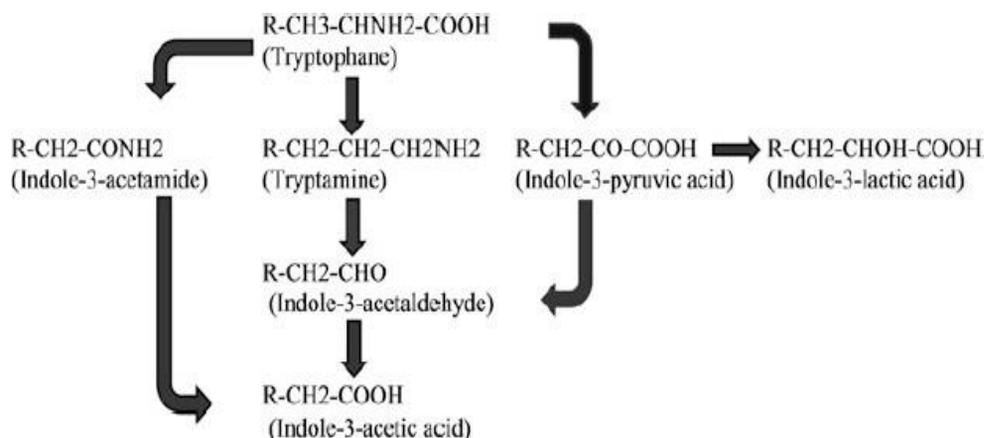


Figura9. Vía biosintética del ácido indol-3-acético (AIA) en bacterias (Amara *et al.*, 2015).

Las citoquininas son derivados purínicos que actúan como promotores del crecimiento vegetal e influyen en diversos procesos fisiológicos y desarrollos de las plantas tales como la división celular, germinación de semillas, desarrollo de raíces primarias, formación de raíces adventicias, acumulación de clorofila, expansión foliar, formación de brotes y el retraso de la senescencia. Las plantas usan continuamente citoquininas para mantener las reservas de células madre totipotentes en sus meristemas de brotes y raíces (García *et al.*, 2001; Ortíz-Castro *et al.*, 2014). Las citoquininas se forman en cualquier tejido vegetal (tallos, raíces, hojas, flores, frutos o semillas), aunque se acepta en general, que en las raíces se producen las mayores cantidades de estas fitohormonas (Dobbelaere *et al.*, 2003). Ejemplos de algunos géneros de RPCV incluidas en la producción de citoquininas *Agrobacterium*, *Aminobacter*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Blastobacter*, *Escherichia*, *Erwinia*, *Hyphomicrobium*, *Methiloarcula*, *Methylobacterium*, *Methylobacter*, *Methylobacterium*, *Methylomonas*, *Methylophylus*, *Methylosinus*, *Methylovorus*, *Paracoccus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Rhodococcus*, *Streptomyces*, *Xanthobacter* (Tsavkelova *et al.*, 2006). Además se ha reportado la producción de citoquininas (especialmente zeatina) en varias especies de RPCV como son A.

giacomelloi, *A. brasilense*, *B. japonicum*, *B. licheniformis*, *P. fluorescens* y *P. polymyxa* (Vacheron *et al.*, 2013).

Las GAs son moléculas complejas con grupos di-terpenos tetracarboxílicos. Se han caracterizado 136 giberelinas en plantas superiores (128 especies), 28 GAs en hongos (siete especies) y solo cuatro GAs (GA₁, GA₃, GA₄ y GA₂₀) en bacterias (siete especies) (MacMillan, 2002). Estas fitohormonas están involucradas en diversas funciones metabólicas requeridas por las plantas tal como la germinación de semillas, la elongación del tallo, la altura de la planta, la expresión sexual, la floración, la formación de frutos, la senescencia y también promueven el alargamiento de la raíz principal y la expansión de las raíces laterales (Yaxley *et al.*, 2001; Babalola, 2010; Camelo *et al.*, 2011; Kang *et al.*, 2014). La producción de GAs ha sido reportado en varias RPCV por ejemplo, *Acinetobacter* spp., *Agrobacterium* spp., *Arthrobacter* spp., *A. xylooxidans*, *A. calcoaceticus*, *Azospirillum* spp., *Azotobacter* spp., *Bacillus* spp., *Clostridium* spp., *Herbaspirillum seropedicae*, *Flavobacterium* spp., *Gluconobacter diazotrophicus*, *Micrococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Rhizobium* y *Xanthomonas* (Tsavkelova *et al.*, 2006; Glick, 2012).

Mecanismos de biocontrol

Las plantas han desarrollado un potente sistema inmunológico para resistir una posible colonización por patógenos microbianos. Adicionalmente la RSI inducida por las rizobacterias es un tipo de resistencia sistémicamente mejorada contra un amplio espectro de patógenos que se desencadena tras la colonización de las raíces por cepas bacterianas benéficas (De Vleeschauwer y Höfte, 2009). El uso de microorganismos para controlar las enfermedades en las plantas, es una forma de control biológico, es un enfoque respetuoso con el medio ambiente. Los microorganismos benéficos son un enemigo natural de fitopatógenos, debido a que producen metabolitos secundarios cerca de la superficie de la planta, es decir, el sitio donde deben actuar (Lugtenberg y Kamilova, 2009), estos metabolitos son biodegradables y no se necesitan en cantidades elevadas, a diferencia de los agroquímicos que son resistentes a la degradación por microorganismos y se aplican en grandes cantidades a los cultivos agrícolas para mantener la salud de las plantas (Figura 10) (Molina *et al.*, 2015). Algunas cepas de *Pseudomonas* spp.

seleccionadas como antagonistas de *Fusarium* y *Colletotrichum orbiculare*, son capaces de inducir resistencia sistémica cuando se inocula en las plantas (Lugtenberg y Kamilova, 2009).

Por otra parte, el hierro (Fe) es un elemento esencial para el crecimiento de los organismos, las plantas lo obtienen del suelo y cuando la disposición de los elementos nutritivos es limitada los microorganismos de la rizósfera entran en competencia por adquirirlo, las RPCV producen sideróforos que son compuestos de bajo peso molecular para obtener competentemente este mineral del suelo. Además, los sideróforos son compuestos que desempeñan la función de solubilizar específicamente el hierro e incorporarlo al metabolismo celular, químicamente, se consideran compuestos ligantes a hierro que funcionan de forma general uniéndose covalentemente a hierro sin generar cambios en el estado de oxidación. Las sustancias inhibitoras producidas por las RPCV que más se han reportado son los sideróforos, la síntesis de estos y sus receptores es inducida por las limitaciones de Fe en el medio y regulada por proteínas dependientes de Fe, pH y trazas de C, N y P (Camelo *et al.*, 2011). En este sentido, uno de los métodos de estimular indirectamente el crecimiento de la plantas es por la producción y secreción de sideróforos, compuestos que secuestran el Fe disponible en la rizósfera y como resultado previene que cualquier microorganismo patógeno proliferen (Figura 11) (Ortiz *et al.*, 2016).

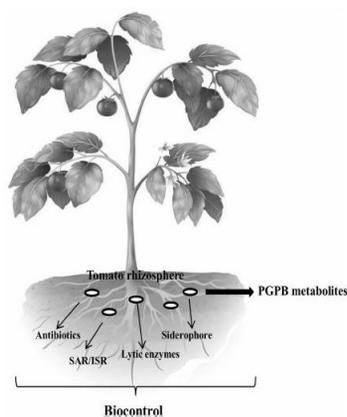


Figura 10. Descripción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el manejo de enfermedades en el cultivo de tomate (Singh *et al.*, 2017).

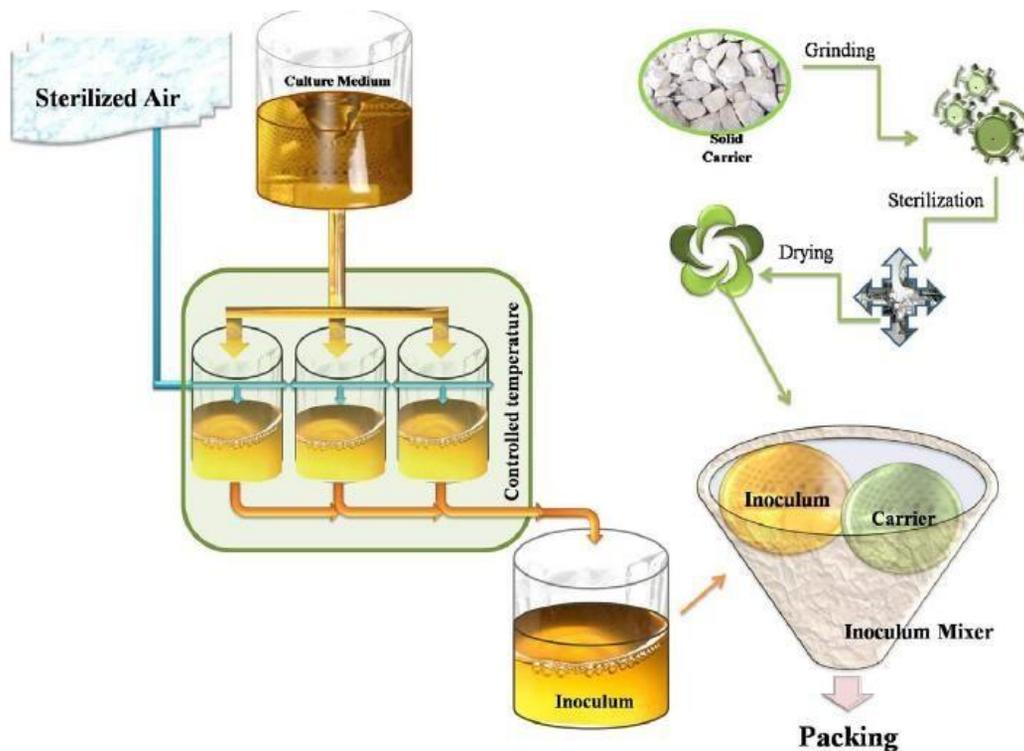


Figura 11. Esquema generalizado de la formulación de bioprotectores por industrias donde las RPCV se conservan en una molécula portadora apropiada y se empaquetan para su aplicación comercial al final del agricultor. Varias formulaciones de RPCV están comercialmente disponibles en el mercado por diferentes productores comerciales y diferentes instituciones gubernamentales (Tabassum *et al.*, 2017).

Fertilidad del suelo y la captación de nutrientes por RPCV

El suelo es el nicho natural para los microorganismos rizosféricos que juegan un papel importante en los procesos del suelo y determinan la productividad de las especies vegetales (Sharma *et al.*, 2017). Las RPCV están involucradas en diferentes procesos del suelo como es la descomposición de residuos de cultivos, mineralización de materia orgánica, inmovilización de nutrientes minerales, solubilización de fosfato, fijación de nitrógeno, síntesis de fitohormonas y control biológico de enfermedades dichos procesos ayudan en la mejora de la fertilidad del suelo, además de mejorar la productividad de las especies vegetales (Figura 12) (Vessey, 2003; Calvo *et al.*, 2014; Egamberdieva *et al.*, 2015). La disponibilidad de humedad es un factor crítico en el suelo para la colonización de RPCV en la rizosfera. Las rizobacterias asociadas con las raíces están involucradas en la síntesis de un gran número de biomoléculas

que se conjuntan con el suelo y mejoran la salud del suelo (Sharma *et al.*, 2017). En este sentido, en condiciones climáticas húmedas o secas, el pH del suelo puede fluctuar mucho. La gran cantidad de lluvia en un área tropical reduce significativamente el pH del suelo por lixiviación de cationes alcalinos como Ca y Mg o mejora los procesos de meteorización, que finalmente resultan en la producción de óxidos de hierro y aluminio con una alta afinidad por el intercambio catiónico con la solución de suelo. En condiciones de clima seco, hay una alta concentración de cationes alcalinos en el suelo, incluidos Ca y Mg, que aumentan considerablemente el pH del suelo. La acidez del suelo puede afectar: (1) el crecimiento de la planta y la producción del rendimiento, (2) la población y actividades microbianas, (3) la disponibilidad de nutrientes del suelo y (4) actividades de patógenos (Miransari, 2011).

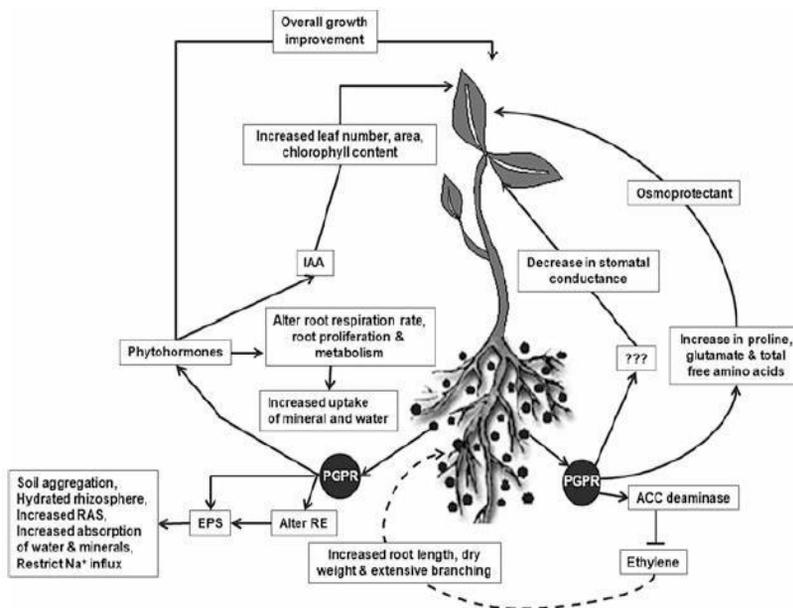


Figura 12. Mecanismos de mejora de la fertilidad del suelo a través de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (Egamberdieva *et al.*, 2015).

La RPCV modifica la fisiología de las plantas, asimismo las propiedades nutricionales y físicas del suelo rizosférico. Se ha demostrado que las rizobacterias incrementan la absorción de elementos nutritivos como Ca, K, Fe, Cu, Mn y Zn a través de la bomba de protones ATPasa (Bhattacharyya y Jha, 2012). Este aumento en la absorción de nutrientes por las plantas podría explicarse a través de la producción de ácidos orgánicos por las plantas y RPCV, disminuyendo

el pH del suelo en la rizosfera (Glass *et al.*, 2002). En la actualidad es importante la actividad de las RPCV en el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Tabassum *et al.*, 2017), por ejemplo las rizobacterias ayudan la solubilización de los nutrimentos no disponibles y a facilitar su absorción (Glick, 1995). Por lo tanto la aplicación bioinoculantes en programas de fertilización de los cultivos aumenta la materia orgánica del suelo, lo que modifica la actividad de las comunidades microbianas del suelo, induciendo cambios en el conjunto de carbono orgánico del suelo. Los procesos inducidos por los bioinoculantes en las propiedades biológicas del suelo varían de suelo a suelo y juegan papeles importantes en el estado de la fertilidad del suelo y la estabilización del carbono orgánico del suelo, lo que a su vez afecta las propiedades del suelo y la productividad de las especies vegetales (Buragohain *et al.*, 2017).

Por otra parte, la materia orgánica del suelo es importante en la conservación y restauración del suelo a largo plazo. Los compuestos orgánicos disueltos tienen un papel principal en el suministro de NH_4^+ derivado del suelo, regulan las transformaciones del N fijado biológicamente y ayudan mantener un equilibrio en la relación carbono/N del suelo. El suelo que tiene un nivel bajo de materia orgánica si se inocula con RPCV puede dar mejores rendimientos. La agregación del suelo es un factor físico importante de la fertilidad del suelo, lo que contribuye a la retención y movimiento del agua. La producción de exopolisacáridos por algunos RPCV aumenta la agregación y la fertilidad del suelo. La aplicación de RPCV que produce exopolisacáridos también ayuda a aumentar el rendimiento de los cultivos en suelo afectado por factores ambientales tales como la sequía y el estrés por salinidad (Qurashi y Sabri, 2012; Arora *et al.*, 2017; Van Oosten *et al.*, 2017).

Abonos orgánicos

Un abono orgánico es aquel material que se aplica al medio de crecimiento de las plantas que estimula el crecimiento de éstas de manera indirecta, a través de mejorar las propiedades físicas y químicas del medio de crecimiento. Los abonos pueden ser provenientes de residuos orgánicos, como los estiércoles de diferentes especies de animales, los biosólidos, los residuos de cosecha y el compost pueden considerarse como abonos orgánicos (Figuroa y Cueto, 2003).

Los diferentes sistemas de producción agrícola en la actualidad son cada vez más intensos en la utilización de agroquímicos, por lo tanto así contribuyendo al uso indiscriminado de fertilizantes y otros productos sintéticos y de prácticas culturales que han propiciado impactos negativos al ambiente tales como: la erosión, la pérdida de fertilidad y la contaminación del suelo, el deterioro de la calidad de los alimentos (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2010). Debido a lo anterior, la manipulación de abonos orgánicos y bioinoculantes a base bacterias y hongos ha crecido claramente en los últimos 20 años. Los abonos orgánicos actúan con el fin de disminuir el suministro de agroquímicos, principalmente fertilizantes sintéticos, así favorecen el crecimiento de frutos inoos, resistentes al ataque de plagas, además ofrecen facilidades para su aplicación. Además los elementos nutritivos esenciales, que aportan los fertilizantes biológicos, poseen características fisicoquímicas y biológicas apropiadas para el aumentar la fertilidad de los suelo, lo cual implica incrementos de productividad en el sector agrícola (Carvajal y Mera, 2010).

El uso de abonos orgánicos ha cobrado mayor importancia por diversas razones; desde punto de vista económico ya que son de bajo costo y como fomento hacia una agricultura sostenible (Raviv, 2005; Fortis *et al.*, 2013). Según Garcia *et al.* (2014) los abonos orgánicos representan una alternativa como fuente de elementos nutritivos para la agricultura sostenible, ya que provee de residuos orgánicos y reduce la contaminación ambiental, bajando con ello el costo de producción, además los abonos orgánicos mantienen la dinámica, el desarrollo vegetal y la vida macro y microbiana del suelo, representan una alternativa para mejorar el nivel económico de los productores, mejorar el sistema alimentario (López *et al.*, 2012).

La aplicación de los abonos orgánicos es de relevancia en la agricultura: a) desde el punto de vista ecológico, se ha incrementado la preocupación por fomentar las prácticas agrícolas sostenibles con el ambiente, b) mejoran las condiciones de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y por sobre explotación (Nieto-Garibay *et al.*, 2002), c) mejoran las estructura del suelo; con ello, se aumentan la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrimentos para las especies vegetales (López-Mtz. *et al.*, 2001), d) facilitan la formación de agregados estables con lo que mejora la permeabilidad de éstos, aumenta la fuerza de cohesión a suelos arenosos y disminuye ésta en suelos arcillosos, e) estimula el desarrollo de plantas, f) mejora y regula la velocidad de infiltración del agua, disminuyendo la

erosión producida por el escurrimiento superficial, g) eleva la capacidad útil de los suelos, h) su acción quelante contribuye a disminuir los riesgos carenciales y favorece la disponibilidad de algunos microelementos (Fe, Cu y Zn) para la planta, i) el humus aporta elementos minerales en bajas cantidades, y es una importante fuente de C para los microorganismos del suelo (Félix *et al.*, 2008), f) incrementa la presencia de nitratos lo que permitiría no aplicar nitrógeno al menos al inicio de un nuevo ciclo agrícola (Fortis-Hernández *et al.*, 2009). El abono orgánico que ha sido más estudiado en los últimos años es el compost y vermicompost (Luna *et al.*, 2015), ya que se ha comprobado que mejora una gran cantidad de características del suelo como la fertilidad, la capacidad de almacenamiento de agua, la mineralización del N, el P y K, mantiene valores de pH óptimos para la disponibilidad de los nutrimentos para las especies vegetales, evita cambios extremos en la temperatura, fomenta la actividad microbiana y controla la erosión (Nieto-Garibay *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2008).

Vermicompost

En la actualidad se ha incrementado el interés en estudiar y cuantificar los compuestos antioxidantes de los productos agrícolas por sus propiedades nutraceuticas (Paz *et al.*, 2015). Así como también existe la creciente tendencia de los consumidores de preferir alimentos saludables, libres de aditivos, inocuos y nutritivos (Hasperué *et al.*, 2015). Una alternativa para producir alimentos de excelente calidad con mayores contenidos de vitaminas, compuestos fenólicos, azúcares y compuestos antioxidantes es la producción orgánica, sistema de producción que prohíbe el uso de productos sintéticos (Pradeepkumar *et al.*, 2017; Salas-Pérez *et al.*, 2017). En este contexto, para mitigar los efectos adversos de los fertilizantes sintéticos y disminuir el problema de los residuos sólidos orgánicos generados por los sistemas de producción agropecuarios de manera sostenible, es el uso de abonos orgánicos como el vermicompost, una buena opción ya que es utilizado como fuente potencial de: (i) nutrimentos solubles (Reyes-Pérez *et al.*, 2017), (ii) fitohormonas (Ravindran *et al.*, 2016), (iii) enzimas (Álvarez-Solís *et al.*, 2016), (iv) actividad bacteriana (Maji *et al.*, 2017) y (v) ácidos húmicos y flúvicos que son capaces de estimular el crecimiento y rendimiento de las especies vegetales en los sistemas de agricultura orgánica (Mendes *et al.*, 2012).

Aunado a lo anterior, existen evidencias que el suministro de vermicompost a los suelos y/o a los sustratos de crecimiento favorece el desarrollo y la productividad de diversos cultivos hortícolas, tales como tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Márquez-Quiroz *et al.*, 2014), lechuga (*Lactuca sativa* L.) (Kapoulas *et al.*, 2017), melón (*Cucumis melo* L.) (Sánchez *et al.*, 2016) y pepino (*Cucumis sativus* L.) (Díaz-Méndez *et al.*, 2014), entre otras especies vegetal de interés comercial. De forma particular en varios estudios se ha demostrado que el uso del vermicompost ha logrado favorecer el rendimiento y la actividad antioxidante en los frutos (Castellanos *et al.*, 2017). No obstante, con frecuencia la incorporación de sustratos derivados de la descomposición de residuos orgánicos, entre ellos el vermicompost puede provocar una elevada salinidad en el medio radical. Por lo tanto, para disminuir dicho efecto es mezclar el vermicompost con medios inertes como la arena de río, material comúnmente utilizado en los sistemas de producción de cultivos sin suelo, al mejorar sus características físicas y químicas evitando la hipoxia y daños por salinidad, por lo que puede usarse como sustrato o componente de los mismos en condiciones de invernadero (Díaz-Méndez *et al.*, 2014). De acuerdo a Arancon *et al.* (2011) y Bhat *et al.* (2015) los contenidos de ácidos húmicos y fúlvicos producidos por los microorganismos presentes en el vermicompost aumentan el desarrollo vegetativo de las plantas; además la presencia de fitohormonas tales como N⁶-[2-isopentenil]adenina (citoquinina), N⁶-isopenteniladenosina (citoquinina) y ácido 3-indolacético (auxina) en el vermicompost podrían estimular un incremento en el crecimiento de las plantas (Zhang *et al.*, 2015). El vermicompost incrementa los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y fitohormonas en el medio de crecimiento, lo que promueve el desarrollo y actividad del sistema radical. Un sistema de raíz bien desarrollado tiende a registrar un mayor rendimiento de las plantas (Zuo *et al.*, 2018).

Fernandez-Luqueno *et al.* (2010), López-Gómez *et al.* (2012) y Cabanillas *et al.* (2013) concluyeron que la fertilización con vermicompost en los cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), chile cv. Rebellious y albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en invernadero, incrementó la altura de estas especies en un 4.5, 25.78 y 19.50 %, al compararse con las plantas fertilizadas inorgánicamente, respectivamente. Uzoma *et al.* (2011) indican que una mayor altura de planta trae consigo incrementos en el número de hojas y el contenido de clorofila (Islam *et al.*, 2013). El incremento en número de hojas aumenta la fotosíntesis total y por ende se podría obtener un

aumento del peso de fruto y en consiguiente un mayor rendimiento (Rodríguez *et al.*, 2009). Por otra parte, los aumentos de firmeza en los frutos podría deberse al nivel óptimo de disponibilidad de potasio a través de los abonos orgánicos. El aumento relacionado con el potasio en la firmeza del fruto se asoció con un mayor potencial de presión del tejido. Esto indica la posibilidad que los niveles de potasio aportados por el vermicompost incrementan la firmeza en los frutos (Kumar y Ponnuswani, 2013). Este comportamiento coincide con lo señalado por Aminifard y Bayat (2016) quienes indican que la firmeza es significativamente mayor en frutos de provenientes de plantas fertilizadas con vermicompost en comparación a los frutos de plantas fertilizadas inorgánicamente. De acuerdo a Singh *et al.* (2008), la aplicación del vermicompost a razón de 2.5 a 10 t ha⁻¹ en el cultivo de fresa se incrementa la firmeza del fruto en comparación a la fertilización inorgánica. Cooper *et al.* (1998) mencionan que los frutos con mayor firmeza podrían ser más resistentes al decaimiento causado por microorganismos, por lo tanto, las plantas fertilizadas con vermicompost no solo incrementan la firmeza, sino que podrían disminuir el deterioro del fruto.

Adicionalmente, es posible que los contenidos de fenólicos y flavonoides totales son modificados de acuerdo a la salinidad causada por el vermicompost en el medio radical (Grimaldo-Pantoja *et al.*, 2017). La salinidad en el medio radical causa un estrés osmótico cuando disminuye la energía libre del agua, así reduciendo la absorción de agua y nutrientes. Dicha restricción incrementa la biosíntesis de metabolitos secundarios, como los polifenoles los cuales propician una mejor calidad nutracéutica de los frutos (Sánchez *et al.*, 2016). Los aumentos de la capacidad antioxidante en frutos de tratamientos orgánicos, puede deberse a la presencia de fenilalanina en los abonos orgánicos que es el precursor de varias sustancias fenólicas que contribuyen al aumento de los compuestos fenólicos totales (Kumar y Ponnuswani, 2013), estos compuestos tienen una correlación positiva con la actividad antioxidante (Sánchez *et al.*, 2016). El aporte de vermicompost al medio de crecimiento de las plantas podría ser una alternativa para obtener frutos con mayores contenidos de compuestos fenólicos y una mejor actividad antioxidante lo cual es importante para la salud pública porque pueden contribuir a la protección de algunas enfermedades.

Capacidad antioxidante y fenoles totales en los frutos

El valor nutracéutico en frutos se refiere a los componentes naturales que proporcionan beneficios para la salud humana. El valor nutracéutico de los frutos se considera un parámetro que determina la calidad de los frutos. Sin embargo, la salinización del medio de crecimiento y sequía alteran la calidad nutracéutica de los frutos. La salinidad y sequía desencadenan reacciones fisiológicas y bioquímicas en las plantas que pueden alterar la composición química de los cultivos y, por lo tanto, perjudicar la calidad nutracéutica de los frutos (Liu *et al.*, 2017). Una opción para mitigar lo estrés abiótico (salinidad y sequía) es la aplicación de bioinoculantes base RPCV debido a el potencial metabólico y genético intrínseco de éstas, ayudan a tolerar y aliviar el impacto negativo del estrés abiótico en las plantas. Durante el manejo del estrés salino, RPCV activa la maquinaria de defensa antioxidante de las plantas al regular la actividad de la superóxido dismutasa (SOD), catalasa y peroxidasa, las enzimas clave que eliminan las especies de oxígeno reactivo (ROS) producidas. Bajo estrés por sequía, ciertas RPCV productoras de glicina betaína u osmotolerantes actúan sinérgicamente con la glicina betaína producida por las plantas y, por lo tanto, aumentan el potencial de tolerancia a la sequía de las plantas. Las RPCV también confieren tolerancia a la sequía al regular los niveles de proteínas, polisacáridos y fitohormonas (Singh *et al.*, 2018). El uso de bioinoculantes compuestos de microorganismos benéficos, ya sean bioestimulantes, biofertilizantes o bioprotectores constituyen una alternativa biotecnológica cada vez más aceptada (Creus, 2017).

Cabe mencionar que los bioinoculantes base RPCV producen compuestos volátiles orgánicos (COVs), los cuales están involucrados en la resistencia a estrés abióticos que modifican la calidad nutracéutica de los alimentos. Los principales COVs son: 2,3-Butanediol, Acetoína y 2,3-Butanediona, Methanethiol, 2-Methylpentanoic acid methyl ester, 1-octanol, 3-Methyl-2-butanol, 2-Methyl-1-propanol, Acetophenone, Alpha-terpineol. Los VOCs (líquidos lipofílicos que tienen altas presiones de vapor) juegan un papel importante en (i) modular la expresión de genes involucrados en la estructura de la pared celular; (ii) estimular la biosíntesis de colina y glicina betaína, que aumentan la tolerancia de las plantas al estrés osmótico; (iii) regular el gen específico del tejido del transportador de K^+ de alta afinidad (HKT1), que restringe la absorción de Na^+ en las raíces, aumenta la translocación del brote a la raíz y

finalmente imparte tolerancia sistémica inducida a las plantas frente a la salinidad; (iv) cierre de estomas en plantas, lo que induce tolerancia sistémica inducida a la sequía; y (v) desencadenar respuestas defensivas de estrés abiótico y biótico (Etesami y Maheshwari, 2018). Por lo tanto, la selección de bioinoculantes base RPCV tolerantes al estrés es de suma importancia para superar la reducción y pérdida de crecimiento y productividad, además de la calidad nutracéutica de frutos de cultivos en áreas afectadas por estrés (Singh *et al.*, 2018).

El concepto de capacidad antioxidante se originó en el área de química y luego se adaptó a la biología, la medicina, la epidemiología y la nutrición (Cao y Prior, 1998; Pellegrini *et al.*, 2003). Describe la capacidad de las moléculas redox en los alimentos y los sistemas biológicos para eliminar los radicales libres. Este parámetro determina y cuantifica los antioxidantes presentes en muestras biológicas, considerando los efectos aditivos y sinérgicos de todos los antioxidantes en lugar del efecto de compuestos individuales, por lo tanto, puede ser útil para estudiar los beneficios para la salud humana de los antioxidantes en la oxidación enfermedades causada por algún tipo de estrés (Brighenti *et al.*, 2005; Puchau *et al.*, 2010). Se han adoptado ensayos espectrofotométricos para medir la capacidad antioxidante, siendo los más populares el ácido 2,20-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS) (Kim *et al.*, 2003) y 1,1-difenil-2-picrylhydrazyl (DPPH) (Brand-Williams *et al.*, 1995), entre otros, como la capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno (ORAC) y el ensayo de capacidad reductora férrica del plasma (FRAP) (Ou *et al.*, 2002). Los ensayos emplean el mismo principio: se genera un radical sintético coloreado o un compuesto redox activo; y la capacidad de una muestra biológica para eliminar el radical o reducir el compuesto activo redox se controla mediante un espectrofotómetro, aplicando un estándar para cuantificar la capacidad antioxidante, por ejemplo como capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) o capacidad antioxidante equivalente de vitamina C (VCEAC). Aunado a lo anterior, un enfoque se basa en una transferencia de electrones e implica la reducción de un oxidante coloreado, por ejemplo en ensayo ABTS, DPPH y FRAP. El otro enfoque implica una transferencia de átomos de hidrógeno, como el ensayo ORAC, en el que los antioxidantes y el sustrato compiten por los radicales piróxilo generados térmicamente (Dudonné *et al.*, 2009).

El ensayo ABTS se basa en la generación de un ABTS⁺ azul / verde que puede reducirse con antioxidantes; mientras que el ensayo DPPH se basa en la reducción del DPPH púrpura a

1,1-difenil- 2-picrylhydrazyl. Ambos ensayos son convenientes en su aplicación y, por lo tanto, los más populares; sin embargo, son limitados ya que usan radicales no fisiológicos. En contraste, el ensayo ORAC detecta el cambio químico en una molécula fluorescente causada por un ataque de radicales libres. Se basa en radicales piróxilo que reflejan perturbaciones fisiológicas relevantes. El ensayo FRAP es diferente de los demás ya que no hay radicales libres involucrados, pero se controla la reducción de hierro férrico (Fe^{3+}) a hierro ferroso (Fe^{2+}) (Kim *et al.*, 2003; Gorintein *et al.*, 2010).

Los compuestos fenólicos (CF), también conocidos como polifenoles son una clase de metabolitos secundarios de las plantas, que muestran una diversidad de estructuras, a partir de estructuras simples, por ejemplo el ácidos fenólicos, a través de polifenoles como los flavonoides. Los CF son importantes para la calidad de los frutos de cultivos agrícolas: son responsables del color de frutos rojos, jugos y vinos, además de están involucrados en las propiedades de sabor (Cheynier, 2012). Las plantas sintetizan los CF derivados del fenol, un anillo aromático con un grupo hidroxilo (Ávalos y Pérez-Urria, 2009), éstos mismos varían dependiendo de la planta, los factores genéticos y las condiciones ambientales (Martins *et al.*, 2011). Los CF se clasifican de acuerdo al número de átomos de carbono y la estructura de su esqueleto base. Debido a su complejidad química, se han descubierto los siguientes grupos: fenoles simples, ácidos fenólicos, acetofenonas, cumarinas, benzofenons y estilbenos, xantonas y flavonoides. Estos últimos constituyen el grupo de mayor importancia y abundancia en la naturaleza (Figura 1) (Castro-López *et al.*, 2015). Además de su papel en las plantas, los CF en la dieta alimentaria pueden proporcionar beneficios para la salud asociados con un menor riesgo de enfermedades crónicas como efectos antialérgicos, antiaterogénicos, antiinflamatorios, anti microbios, antioxidantes, antitrombóticos, cardioprotectores y vasodilatadores (Van, 2016). Los efectos beneficiosos derivados de los CF se han atribuido por sus propiedades antioxidantes que pueden proteger contra enfermedades degenerativas como enfermedades cardíacas y cáncer involucradas en especies de oxígeno de reacción (es decir, anión superóxido, radicales hidroxilo y radicales piróxilo) (Heim *et al.*, 2002; Gahler *et al.*, 2003).

Los CF pueden ser de dos formas i) fenólicos insolubles los cuales se encuentran en las paredes celulares, mientras que los ii) fenólicos solubles están presentes de las vacuolas. Éstos mismos juegan un papel importante en la fisiología de las plantas, estando involucrados en

diversas funciones, como estructura, pigmentación (flores y/o frutos), polinización, resistencia a patógenos, así como en el crecimiento y desarrollo.

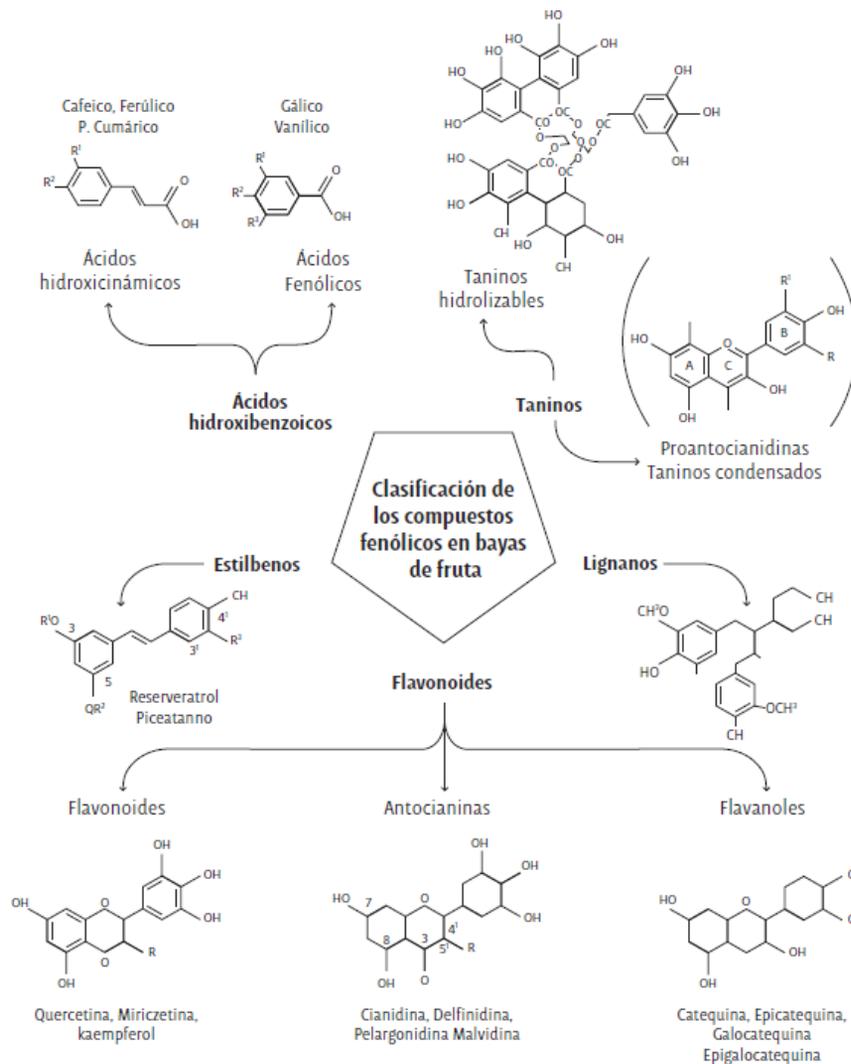


Figura 13. Clasificación de los compuestos fenólicos en frutos de cultivos agrícolas (Castro-López *et al.*, 2015).

La mayoría de los CF vegetales se derivan del ácido trans-cinámico, que se forma a partir de la L-fenilalanina por la acción de la L-fenilalanina amoniaco-liasa, la enzima de punto de ramificación entre el metabolismo primario (vía shikimato) y secundario (vía fenilpropanoide). La ruta shikimato proporciona una ruta alternativa a la formación de compuestos aromáticos, particularmente los aminoácidos aromáticos. La L-fenilalanina, como bloque de construcción

Tabla 1. Estrategia de los bioinoculantes para mitigar los estreses de salinidad y sequía los cuales modifican la calidad nutracéutica de los frutos.

Estrés	Implicaciones	Estrategia de las RPCV
Salinidad	Los niveles elevados de sal (por ejemplo, NaCl) causan citotoxicidad iónica y reducen el potencial osmótico	Aumento de la acumulación de prolina, disminución de la acumulación de Na ⁺ en la raíz y tallo y mayores concentraciones de K ⁺ en la raíz, vía dependiente del ácido salicílico; expresión del gen RAB18 relacionado con el estrés salino.
Sequia	Bajo potencial del agua	Aumento de la fotosíntesis, biomasa de raíces y tallo en condiciones de sequía, proteínas y enzimas relacionadas con la defensa, antioxidantes y exopolisacáridos, genes y proteínas relacionadas con el estrés; producción de compuestos volátiles.

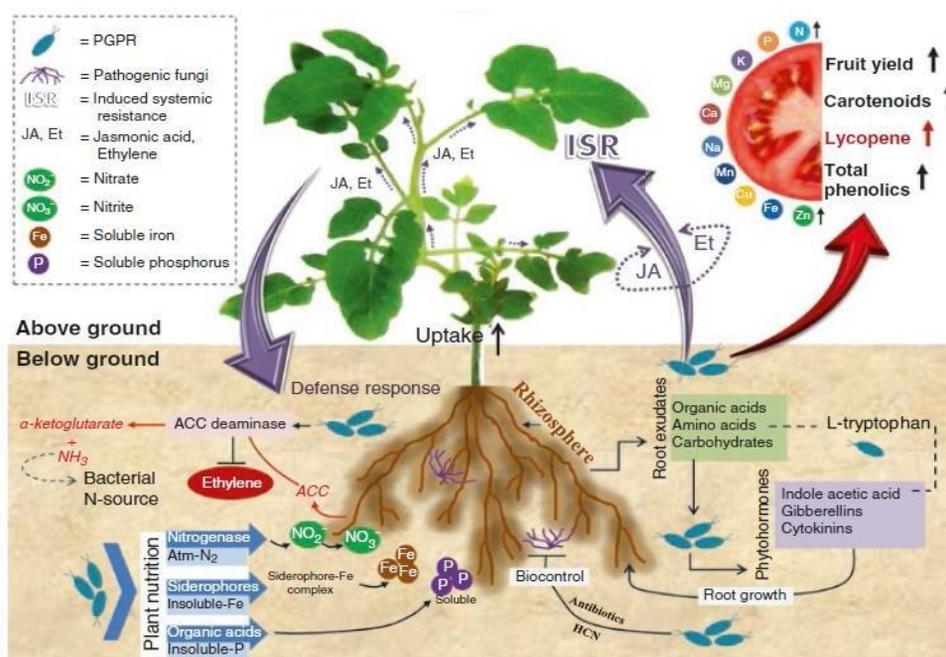


Figura 15. Descripción esquemática de la mejora mediante la aplicación de RPCV del crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de tomate (Ahmed *et al.*, 2017).

LITERATURA CITADA

- Ahemad, M. y Khan, M. S. 2010. *Pseudomonas aeruginosa* strain PS1 enhances growth parameters of greengram [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] in insecticide-stressed soils. *Journal of Pest Science*. 84(1): 123-131.
- Ahemad, M. y Khan, M. S. 2012. Alleviation of fungicide-induced phytotoxicity in greengram [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] using fungicide-tolerant and plant growth promoting *Pseudomonas* strain. *Saudi J Biol Sci*. 19(4): 451-459.
- Ahemad, M. y Kibret, M. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*. 26(1): 1-20.
- Ahmad, F., Ahmad, I. y Khan, M. S. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiol Res*. 163(2): 173-181.
- Ahmed, B., Zaidi, A., Khan, M. S., Rizvi, A., Saif, S. y Shahid, M. 2017. Perspectives of plant growth promoting rhizobacteria in growth enhancement and sustainable production of tomato. In A. Zaidi & M. S. Khan (Eds.). *Microbial strategies for vegetable production* (pp. 125-149). Cham, Switzerland. Springer Nature.
- Almaghrabi, O. A., Massoud, S. I. y Abdelmoneim, T. S. 2013. Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. *Saudi J Biol Sci*. 20(1): 57-61.
- Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Núñez, J. A., León-Martínez, N. S., Castellanos-Albores, J. y Gutiérrez-Miceli, F. A. 2016. Effect of bokashi and vermicompost leachate on yield and quality of pepper (*Capsicum annuum*) and onion (*Allium cepa*) under monoculture and intercropping cultures. *Cienc. Investig. Agrar*. 43(2): 243-252.
- Amara, U., Khalid, R. y Hayat, R. 2015. Soil bacteria and phytohormones for sustainable crop production. *Bacterial metabolites in sustainable agroecosystem* (pp. 87-103). Springer.
- Aminifard, M. H. y Bayat, H. 2016. Effect of vermicompost on fruit yield and quality of bell pepper. *Int. J. Hortic. Sci. Technol*. 3(2): 221-229.
- Arancon, N., Edwards, C. A., Webster, K. A. y Buckerfield, J. C. 2011. The potential of vermicomposts as plant growth media for greenhouse crop production. In C. A. Edwards, N. Arancon & R. Sheran (Eds.). *Vermiculture Technology* (pp. 103-128). CRC Press, London.
- Arora, N. K., Verma, M. y Mishra, J. 2017. Rhizobial Bioformulations: Past, Present and Future. *Rhizotrophs: Plant Growth Promotion to Bioremediation* (pp. 69-99). Springer.
- Ashrafuzzaman, M., Akhtar, H. F., Razi, I. M., Anamul, H. M., Zahurul, I. M., Shahidullan, S. M. y Meon, S. 2009. Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology*. 8(7): 1247-1252.
- Ávalos, G. A. y Pérez-Urria, C. E. 2009. Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología)*. 2(3): 119-145.
- Babalola, O. O. 2010. Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnol Lett*. 32(11): 1559-1570.
- Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S. y Vivanco, J. M. 2006. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol*. 57(1): 233-266.

- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K. y Tuteja, N. 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*. 13(1): 1-10.
- Bhat, S. A., Singh, J. y Vig, A. P. 2015. Potential utilization of bagasse as feed material for earthworm *Eisenia fetida* and production of vermicompost. *Springerplus*. 4(1): 1-9.
- Bhattacharjee, R. B., Singh, A. y Mukhopadhyay, S. N. 2008. Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. *Appl Microbiol Biotechnol*. 80(2): 199-209.
- Bhattacharyya, P. N. y Jha, D. K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal Microbiology Biotechnology*. 28(4): 1327-1350.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. y Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*. 28(1): 25-30.
- Brighenti, F., Valtuena, S., Pellegrini, N., Ardigo, D., Del Rio, D., Salvatore, S., Piatti, P., Serafini, M. y Zavaroni, I. 2005. Total antioxidant capacity of the diet is inversely and independently related to plasma concentration of high-sensitivity C-reactive protein in adult Italian subjects. *British Journal of Nutrition*. 93(5): 619-625.
- Buragohain, S., Sarma, B., Nath, D. J., Gogoi, N., Meena, R. S. y Lal, R. 2017. Effect of 10 years of biofertiliser use on soil quality and rice yield on an Inceptisol in Assam, India. *Soil Research*.
- Caballero-Mellado, J. 2006. Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 48(2): 154-161.
- Cabanillas, C., Stobbia, D. y Ledesma, A. 2013. Production and income of basil in and out of season with vermicomposts from rabbit manure and bovine ruminal contents alternatives to urea. *J. Clean. Prod.* 47(1): 77-84.
- Calvo, P., Nelson, L. y Kloepper, J. W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*. 383(1): 3-41.
- Camelo-Rusique, M., Moreno-Galvan, A., Romero-Perdomo, F. y Bonilla-Buitrago, R. 2017. Desarrollo de un sistema de fermentación líquida y de enquistamiento para una bacteria fijadora de nitrógeno con potencial como biofertilizante. *Rev Argent Microbiol*. 49(3): 289-296.
- Camelo, R. M., Vera, M. S. P. y Bonilla, B. R. R. 2011. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Revista Corpoica- Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 12(2): 159-166.
- Cao, G. y Prior, L. R. 1998. Comparison of different analytical methods for assessing total antioxidant capacity of human serum. *Clinical Chemistry*. 44(1): 1309-1315.
- Carvajal, M., Juan Sebastián y Mera, B. A. C. 2010. Fertilización biológica: técnica de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia*. 5(2): 79-96.
- Castagno, L. N., Estrella, M. J., Sannazzaro, A. I., Grassano, A. E. y Ruiz, O. A. 2011. Phosphate-solubilization mechanism and in vitro plant growth promotion activity mediated by *Pantoea eucalypti* isolated from *Lotus tenuis* rhizosphere in the Salado River Basin (Argentina). *J Appl Microbiol*. 110(5): 1151-1165.
- Castellanos, Z. J., Cano-Ríos, P., García-Carrillo, E. M., Olalde-Portugal, V., Preciado-Rangel, P., Ríos-Plaza, J. L. y García-Hernández, J. L. 2017. Hot pepper (*Capsicum annuum* L.) growth, fruit yield, and quality using organic sources of nutrients. *Compost Sci. Util.* 25(5): 570-577.

- Castro-López, L. R., Ortega-Regules, A. E. y Lozada-Ramirez, J. D. 2015. Modificaciones enzimáticas de compuestos fenólicos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 9(1): 5-14.
- Cooper, W., Bouzayen, M., Hamilton, A., Barry, C., Rossall, S. y Grierson, D. 1998. Use of transgenic plants to study the role of ethylene and polygalacturonase during infection of tomato fruit by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Pathology*. 47(3): 308-316.
- Creus, C. M. 2017. Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Rev Argent Microbiol*. 49(3): 207-209.
- Cheynier, V. 2012. Phenolic compounds: from plants to foods. *Phytochemistry Reviews*. 11(2-3): 153-177.
- 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*. 1(4): 21-23.
- De Vleeschauwer, D. y Höfte, M. 2009. Rhizobacteria-induced systemic resistance. *Advances in Botanical Research*. 51: 223-281.
- Dias, M. I., Sousa, M. J., Alves, R. C. y Ferreira, I. C. 2016. Exploring plant tissue culture to improve the production of phenolic compounds: A review. *Industrial Crops and Products*. 82(1): 9-22.
- Díaz-Méndez, H. A., Preciado-Rangel, P., Álvarez-Reyna, V. P., Fostis-Hernández, M., García-Hernández, J. L. y Sánchez-Chávez, E. 2014. Producción orgánica y capacidad antioxidante de frutos de pepino. *ITEA-Inf. Tec. Econ. Agrar*. 20(1): 1-8.
- Díaz, F. A., Magallanes, E. A., Aguado, S. A. y Hernández, M. J. L. 2015. Respuesta de la soya a inoculantes microbianos en el norte de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrarias*. 6(2): 227-238.
- Díaz, V. P., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz, S. J. J. y Alcántar, G. G. 2001. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. *Terra Latinoamericana*. 19(4): 327-335.
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J. y Okon, Y. 2003. Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 22(2): 107-149.
- Dudonné, S., Vitrac, X., Countiere, P., Woillez, M. y Merrillon, J. M. 2009. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extract of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD and ORAC assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistr*. 57(1): 1768-1774.
- Egamberdieva, D., Shrivastava, S. y Varma, A. 2015. *Plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and medicinal plants (Vol. 42)*: Springer.
- Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., Garcia-Hernández, J. L., Preciado-Rangel, P., Sáenz-Mata, J. y Reyes-Carrillo, J. L. 2019. Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. *Biotecnia*. 21(3): 100-107.
- Esquivel-Cote, R., Gavilanes-Ruiz, M., Cruz-Ortega, R. y Huante, P. 2013. Importancia agrobiotecnológica de la enzima acc desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(3): 251-238.
- 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. *Ecotoxicol Environ Saf*. 156(1): 225-246.
- Félix, H. J. A., Sañudo, T. R. R., Rojo, M. G. E., Martínez, R. R. y Odalde, P. V. 2008. Importancia de los abonos organicos. *Ra Ximhai*. 4(1): 57-67.

- Fernandez-Luqueno, F., Reyes-Varela, V., Martinez-Suarez, C., Salomon-Hernandez, G., Yanez-Meneses, J., Ceballos-Ramirez, J. M. y Dendooven, L. 2010. Effect of different nitrogen sources on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioresour. Technol.* 101(1): 396-403.
- Figueroa, V. U. y Cueto, W. J. A. 2003. Uso sustentable del suelo y abonos orgánicos. In S. E. Salazar, H. M. Fortis, A. A. Vázquez & V. C. Vázquez (Eds.). *Abonos orgánicos y plasticultura* (pp. 1-19). Gómez Palacio, México. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, COCyTED.
- Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J. A., Preciado-Rangel, P., Orona-Castillo, I., García-Salazar, J. A., García-Hernández, J. L. y Orozco-Vidal, J. A. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana.* 27(4): 329-336.
- Fortis, H. M., Sánchez, T. C., Preciado, R. P., Salazar, S. E., Segura, C. M. Á., Orozco, V. J. A., Chavarría, G., José A y Trejo Valencia, R. 2013. Sustratos orgánicos tratados para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México.* 1(2): 1-7.
- Gahler, S., Otto, K. y Bohm, V. 2003. Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *J Agric Food Chem.* 51(1): 7962-7968.
- García, M. H. A., Balderrama, C. P. J., Castro, E. L., Mungarro, I. C., Arrellano, G. M., Martínez, J. L. y Gutiérrez, C. M. A. 2014. Efecto del abono de sustrato gastado de champiñón en el rendimiento de frijol *Phaseolus vulgaris* L. *Terra Latinoamericana.* 32(1): 69-76.
- García, S. I. E., Hynes, R. K. y Nelson, L. M. 2001. Cytokinin production by plant growth promoting rhizobacteria and selected mutants. *Can J Microbiol.* 47(5): 404-411.
- Gianfreda, L. 2015. Enzymes of importance to rhizosphere processes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 15(2): 283-306.
- Glass, A. D., Britto, D. T., Kaiser, B. N., Kinghorn, J. R., Kronzucker, H. J., Kumar, A., Okamoto, M., Rawat, S., Siddiqi, M. y Unkles, S. E. 2002. The regulation of nitrate and ammonium transport systems in plants. *J Exp Bot.* 53(370): 855-864.
- Glick, B. R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can J Microbiol.* 41(2): 109-117.
- Glick, B. R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica (Cairo).* 2012: 963401.
- Gorintin, S., Haruenkit, R., Poovarodom, S., Vearasilp, S., Ruamsuke, P., Namiesnik, J., Leontowicz, M., Leontowicz, H., Suhaj, M. y Sheng, G. P. 2010. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extract of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD and ORAC assays. *Phytochemical Analysis.* 21(1): 355-362.
- Goswami, D., Thakker, J. N., Dhandhukia, P. C. y Tejada Moral, M. 2016. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food & Agriculture.* 2(1).
- Grimaldo-Pantoja, G. L., Niu, G., Sun, Y., Castro-Rocha, A., Álvarez-Parrilla, E., Flores-Márquez, J. P., Corral-Díaz, B. y Osuna-Ávila, P. 2017. Efecto negativo del riego salino en

- componentes del rendimiento y fitoquímicos en chile (*Capsicum annuum*) inoculado con hongos micorrícicos arbusculares. Rev. Fitotec. Mex. 40(2): 141-149.
- Hariprasad, P. y Niranjana, S. R. 2008. Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. Plant and Soil. 316(1-2): 13-24.
- Hartmann, A., Rothballer, M. y Schmid, M. 2008. Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. Plant Soil. 312: 7-14.
- Hasperué, J. H., Lemoine, L., Vicente, A. R., Chaves, A. R. y Martínez, G. A. 2015. Postharvest senescence of florets from primary and secondary broccoli inflorescences. Postharvest Biol. Technol. 104: 42-47.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S. y White, P. 2012. Functions of Macronutrients. In M. s. M. N. o. H. Plants (Ed.). Mineral nutrition of higher plants (pp. 135-189). Elsevier Ltd., Amsterdam, The Netherlands.
- Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R. y Ahmed, I. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. Annals of Microbiology. 60(4): 579-598.
- Heim, E. K., Tagliaferro, R. A. y Bobilya, J. D. 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. Journal of Nutritional Biochemistry. 13(1): 572-584.
- Hernández-Rodríguez, O. A., Ojeda-Barrios, D. L., López, D. J. C. y Arras, V. A. M. 2010. Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas químicas biológicas del suelo. Tecnociencia, Chihuahua. 4(1): 1-6.
- Hipólito-Romero, E., Carcaño-Montiel, M. G., Ramos-Prado, J. M., Vázquez-Cabañas, E. A., López-Reyes, L. y Ricaño-Rodríguez, J. 2017. Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos en el desarrollo temprano de cultivares mejorados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal tradicional del norte de Oaxaca, México. Rev Argent Microbiol.
- Islam, M. R., Sultana, T., Joe, M. M., Yim, W., Cho, J. C. y Sa, T. 2013. Nitrogen-fixing bacteria with multiple plant growth-promoting activities enhance growth of tomato and red pepper. J. Basic Microbiol. 53(12): 1004-1015.
- James, E. K. y Baldani, J. I. 2012. The role of biological nitrogen fixation by non-legumes in the sustainable production of food and biofuels. Plant and Soil. 356(1-2): 1-3.
- Jha, B. K., Gandhi Pragash, M., Cletus, J., Raman, G. y Sakthivel, N. 2008. Simultaneous phosphate solubilization potential and antifungal activity of new fluorescent pseudomonad strains, *Pseudomonas aeruginosa*, *P. plecoglossicida* and *P. mosselii*. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 25(4): 573-581.
- Kai, M. y Piechulla, B. 2009. Plant growth promotion due to rhizobacterial volatiles--an effect of CO₂? FEBS Lett. 583(21): 3473-3477.
- Kang, S. M., Khan, A. L., You, Y. H., Kim, J. G., Kamran, M. y Lee, I. J. 2014. Gibberellin production by newly isolated strain *Leifsonia soli* SE134 and its potential to promote plant growth. J Microbiol Biotechnol. 24(1): 106-112.
- Kapoulas, N., Koukounaras, A. y Ilić, Z. S. 2017. Nutritional quality of lettuce and onion as companion plants from organic and conventional production in north Greece. Sci. Hortic. 219(1): 310-318.
- Khalid, A., Arshad, M. y Zahir, Z. A. 2006. Phytohormones: microbial production and applications. In N. Uphoff (Ed.). Biological approaches to sustainable soil systems. (pp. 207-220). Boca Raton, Florida, USA. Taylor & Francis/CRC.

- Khan, A. A., Jilani, G., Akhtar, M. S., Naqvi, S. M. S. y Rasheed, M. 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production J. Agric. Biol. Sci. 1(1): 48-58.
- Khan, M. S., Zaidi, A. y Wani, P. A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture - A review. Agronomy for Sustainable Development. 27(1): 29-43.
- Kim, D. O., CHUN, O. K., Kim, Y. J., Moon, H. Y. y Lee, C. Y. 2003. Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums. J Agric Food Chem. 51(1): 6509-6515.
- Kloepper, J. W., Gutierrez-Estrada, A. y McInroy, J. A. 2007. Photoperiod regulates elicitation of growth promotion but not induced resistance by plant growth-promoting rhizobacteria. Canadian Journal Microbiology. 53(2): 159-167.
- Kloepper, J. W. y Schroth, M. N. 1978. Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. In Gilbert-Clorey (Ed.). Proceeding of the 4th international conference on plant pathogenic bacteria (Vol. 2, pp. 879-882). France.
- Kuman, A., Prakash, A. y Johri, B. N. 2011. *Bacillus* as PGPR in Crop Ecosystem. In D. K. Maheshwari (Ed.). Bacteria in Agrobiolgy (pp. 37-59). Springer. Heidelberg, Germany.
- Kumar, M. S. y Ponnuswani, V. 2013. Effect of different water regimes and organic manures on quality parameters of noni (*Morinda citrifolia*). Afr. J. Agric. Res. 8(27): 3534-3543.
- Lesueur, D., Deaker, R., Herrmann, L., Bräu, L. y Jansa, J. 2016. The production and potential of biofertilizers to improve crop yields. In M. V. N. K. Arora, J Mishra (Ed.). Bioformulations: for sustainalbe agriculture (pp. 71-92). Springer India
- Liu, H., Wang, Y. y Chen, H. 2017. Influence of *Rhizoglopus irregulare* on nutraceutical quality and regeneration of *Lycium barbarum* leaves under salt stress. Canadian journal of Microbiology. 63(5): 365-375.
- López-Gómez, B., Lara-Herrera, A., Bravo-Lozano, A., Lozano-Gutiérrez, J., Avelar-Mejía, J., Luna-Flores, M. y Llamas-Llamas, J. 2012. Improvement of plant growth and yield in pepper by vermicompost application, in greenhouse conditions. Acta Hortic. 947: 313-317.
- López-Mtz., J. D., Díaz, E. A., Martínez, R. E. y Valdez, C. R. 2001. Abonos organicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra Latinoamericana. 19(4): 293-299.
- López, A. M., Poot, M. J. E. y Mijangos, C. M. A. 2012. Respuesta del chile habanero (*Capiscum chinense* L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. Revista Científica UDA Agrícola. 12(2): 307-3012.
- López, L. V., Cruz, H. M. A., Fernández, D. S. y Mendoza, H. A. 2015. Diversidad bacteriana en raíces de maíz hibrido convencional y genéticamente modificado. Revista Internacional de Botánica Experimental. 85: 233-243.
- Lugtenberg, B. y Kamilova, F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. Annu Rev Microbiol. 63: 541-556.
- Luna, M., R A, Reyes, P. J. J., López, B., R J, Reyes, B. M., Murillo, C. G., Samaniego, A. C., Espinosa, C. A., Mendez, U. C. y Travéz, T. R. 2015. Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Centro Agrícola. 42(4): 67-74.
- MacMillan, J. 2002. Occurrence of gibberellins in vascular plants, fungi, and bacteria. Journal of Plant Growth Regulation. 20: 387-442.

- Maji, D., Misra, P., Singh, S. y Kalra, A. 2017. Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. *Appl. Soil Ecol.* 110: 97-108.
- Márquez-Quiroz, C., López-Espinosa, S. T., Sánchez-Chávez, E., García-Bañuelos, M. L., De la Cruz-Lázaro, E. y Reyes-Carrillo, J. L. 2014. Effect of vermicompost tea on yield and nitrate reductase enzyme activity in saladette tomato. *J. Soil Sci. Plant Nut.* 14(1): 223-231.
- Martins, S., Mussatto, S. I., Martínez-Avila, G., Montañez-Saenz, J., Aguilar, C. N. y Teixeira, J. A. 2011. Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. *Biotechnology Advances.* 29(3): 365-373.
- Meena, R. K., Singh, Y. V., Lata, A., Kumar, A. y Bana, R. S. 2014. Effect of plant-growth-promoting rhizobacteria inoculation on plant growth, productivity and economics of Basmati rice. *Egyptian Journal of Biology.* 16(1): 45.
- Mendes, C. B., Lima, G. F., Alves, V. N., Coelho, M. N. M., Dragunski, D. C. y Tarley, T. C. R. 2012. Evaluation of vermicompost as a raw natural adsorbent for adsorption of pesticide methylparathion. *Environ. Technol.* 33(1-3): 167-172.
- Minorsky, P. V. 2007. On the Inside. *Plant Physiology.* 146(2): 323-324.
- Miransari, M. 2011. Soil microbes and plant fertilization. *Appl Microbiol Biotechnol.* 92(5): 875-885.
- Mishra, J. y Arora, N. K. 2016. Bioformulations for plant growth promotion and combating phytopathogens: a sustainable approach. In N. K. Arora, S. Mehnaz & R. Balestrini (Eds.). *Bioformulations for sustainable agriculture* (pp. 3-33). Springer, New Delhi.
- Mishra, J., Singh, R. y Arora, N. K. 2017. *Plant Growth-Promoting Microbes: Diverse Roles in Agriculture and Environmental Sustainability.* 71-111.
- Mishra, K. B., Lal, G., Sharma, K. Y., Kant, K., Saxena, S. N. y Dubey, N. P. 2019. Effect of microbial inoculants on cumin (*Cuminum cyminum* Linn.) growth and yield. *International Journal Seed Spices.* 9(1): 53-56.
- Molina, R. D., Bustillos, C. M. d. R., Rodríguez, A. O., Morales, G. Y. E., Santiago, S. Y., Castañeda, L. M. y Muñoz, R. J. 2015. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Revista de la DES Ciencias Biológicas Agropecuarias.* 17(2): 24-34.
- Nadeem, S. M., Naveed, M., Zahir, Z. A. y Asghar, H. N. 2013. Plant-microbe interactions for sustainable agriculture: fundamentals and recent advances. In N. K. Arora (Ed.). *Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances* (pp. 51-103). India. Springer.
- Narula, N., Kothe, E. y Kumar, B. R. 2009. Rol of root exudates in plant-microbe interactions. *Journal of Applied Botany and Food Quality.* 83(1): 122-130.
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Larrinaga-Mayoral, J. Á. y García-Hernández, J. L. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del Chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *INTERCIENCIA.* 27(8): 417-421.
- Noumavo, A. P., Agbodjato, N. A., Baba-Moussa, F., Adjanohoun, A. y Baba-Moussa, L. 2016. Plant growth promoting rhizobacteria: beneficial effects for healthy and sustainable agriculture. *African Journal of Biotechnology.* 15(27): 1452-1463.
- Olanrewaju, O. S., Glick, B. R. y Babalola, O. O. 2017. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology.* 33(197): 1-16.

- Ortíz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L. y López-Bucio, J. 2014. The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*. 4(8): 701-712.
- Ortiz, T. J. A., Delgadillo, M. J., Rodríguez, M. M. d. I. N. y Calderón, Z. G. 2016. Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante. *Terra Latinoamericana*. 34(2): 177-185.
- Ou, B., Huang, D., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J. A. J. y Deemer, E. K. 2002. Analysis of antioxidant activities of common vegetable employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(1): 3122-3128.
- Paz, M., Gullon, P., Barroso, M. F., Carvalho, A. P., Domingues, V. F., Gomes, A. M., Becker, H., Longhinotti, E. y Delerue-Matos, C. 2015. Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: evaluation of bioactive compounds. *Food Chem*. 172: 462-468.
- Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Del Rio, D., Salvatore, S., Bianchi, M. y Brighenti, F. 2003. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *The Journal of Nutrition*. 133(1): 2812-2819.
- Pérez, E., Sulbarán, M., Ball, M. M. y Yarzabal, L. A. 2007. Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. *Soil Biology and Biochemistry*. 39(11): 2905-2914.
- Pieterse, C. M., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C. y Bakker, P. A. 2014. Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Reviews Phytobiology*. 52(1): 347-375.
- Pii, Y., Mimmo, T., Tomasi, N., Terzano, R., Cesco, S. y Crecchio, C. 2015. Microbial interactions in the rhizosphere: beneficial influences of plant growth-promoting rhizobacteria on nutrient acquisition process. A review. *Biology and Fertility of Soils*. 51(4): 403-415.
- Pradeepkumar, T., Bonny, B. P., Midhila, R., John, J., Divya, M. R. y Roch, C. V. 2017. Effect of organic and inorganic nutrient sources on the yield of selected tropical vegetables. *Sci. Hortic*. 224: 84-92.
- Puchau, B., Zulet, M. A., de Echavarri, A. G., Hermsdorff, H. H. y Martinez, J. A. 2010. Dietary total antioxidant capacity is negatively associated with some metabolic syndrome features in healthy young adults. *Nutrition*. 26(5): 534-541.
- Qurashi, A. W. y Sabri, A. N. 2012. Bacterial exopolysaccharide and biofilm formation stimulate chickpea growth and soil aggregation under salt stress. *Brazilian Journal of Microbiology*. 43(3): 1183-1191.
- Ravindran, B., Wong, J. W., Selvam, A. y Sekaran, G. 2016. Influence of microbial diversity and plant growth hormones in compost and vermicompost from fermented tannery waste. *Bioresour. Technol*. 217: 200-204.
- Raviv, M. 2005. Production of high-quality composts for horticultural purposes: A mini-review. *HortTechnology*. 15(1): 52-57.
- Reddy, P. P. 2014. *Plant growth promoting rhizobacteria for horticultural crop protection*. Bangalore, Karnataka, India: Springer.
- Reyes-Pérez, J. J., Luna-Murrillo, R., Murrillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Hernández-Montiel, L. G., Rueda-Puente, E. O. y Preciado-Rangel, P. 2017. Uso de vermicompost y

- compost de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el crecimiento de col morada (*Brassica oleracea*). *Interciencia*. 42(9): 610-615.
- Richardson, E. A. 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal of Plant Physiology*. 28: 897-906.
- Rodríguez, D. N., Cano, R. P., Figueroa, V. U., Favela, C. E., Moreno, R. A., Márquez, H. C., Ochoa, M. E. y Preciado, R. P. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 27(4): 319-327.
- Rodríguez, D. N., Cano, R. P., Figueroa, V. U., Palomo, G. A., Favela, C. E., Álvarez, R. V. d. P., Márquez, H. C. y Moreno, R. A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(3): 265-272.
- Rodríguez, H. y Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*. 17: 319-339.
- Rodríguez, H., Fraga, R., Gonzalez, T. y Bashan, Y. 2006. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. *Plant and Soil*. 287(1-2): 15-21.
- Römheld, V. y Neumann, G. 2006. The rhizosphere: Contributions of the soil-root interface to sustainable soil systems. In U. N (Ed.). *Biological approaches to sustainable soil systems* (pp. 92-107). CRC Press, Taylor and Francis, Oxford.
- Rubio, L. M. y Ludden, P. W. 2008. Biosynthesis of the iron-molybdenum cofactor of nitrogenase. *Annu Rev Microbiol*. 62: 93-111.
- Saharan, B. S. y Nehra, V. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review. *Life Sciences and Medicine Research*. 21: 1-30.
- Salas-Pérez, L., García-Hernández, J. L., Márquez, H. C., Fostis-Hernández, M., Estrada-Arellano, J. R., Esparza-Rivera, J. R. y Preciado-Rangel, P. 2017. Yield and nutraceutical quality of tomato fruits in organic substrates. *Ecosistemas y Recur. Agropecuarios*. 4(10): 169-175.
- Sánchez, H. D. J., Fostis, H. M., Esparza, R. J. R., Rodríguez, O. J. C., De la Cruz, L. E., Sánchez, C. E. y Preciado, R. P. 2016. Empleo de vermicompost en la producción de frutos de melón y su calidad nutracéutica. *Interciencia*. 41(3): 213-217.
- Sharma, I. P., Chandra, S., Kumar, N. y Chandra, D. 2017. PGPR: Heart of Soil and Their Role in Soil Fertility (pp. 51-67).
- Singh, A. K. y Singh, R. S. 2012. Effect of phosphorus and bioinoculant on yield, nutrient uptake and economics of long duration pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Indian Journal of Agronomy*. 57(3): 265-269.
- Singh, R., Sharma, R. R., Kumar, S., Gupta, R. K. y Patil, R. T. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresour.Technol*. 99(17): 8507-8511.
- Singh, V. K., Singh, A. K. y Kumar, A. 2017. Disease management of tomato through PGPB: current trends and future perspective. *3 Biotech*. 7(4): 255.
- Singh, V. K., Singh, A. K., Singh, P. P. y Kumar, A. 2018. Interaction of plant growth promoting bacteria with tomato under abiotic stress: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 267: 129-140.
- Sosa, P. 2015. El largo y sinuoso camino de la Química. *Educación Química*. 26(4): 263-266.
- Spaepen, S., Vanderleyden, J. y Okon, Y. 2009. Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. *Advances in Botanical Research*. 51(1): 283-320.

- Sreedhar, S. S. y Mohan, V. 2015. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi as bio-inoculants on the growth enhancement of *Gmelina arborea* seedlings in nursery.pdf>. Kavaka. 44(1): 73-81.
- Tabassum, B., Khan, A., Tariq, M., Ramzan, M., Iqbal Khan, M. S., Shahid, N. y Aaliya, K. 2017. Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR. Applied Soil Ecology. 121(1): 102-117.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. Fisiologia vegetal (3 ed.). Porto Alegre: Artmed.
- Thakur, J. y Kumar, P. 2018. Studies on conjoint application of nutrient sources and PGPR on growth, yield, quality, and economics of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis L.). Journal of Plant Nutrition. 41(14): 1862-1867.
- Tjamos, E. C., Tjamos, S. E. y Antoniun, P. P. 2010. Biological management of plant diseases: Highlights on research and application. Journal of Plant Pathology. 92(4): 17-21.
- Tsavkelova, E. A., Cherdyntseva, T. A., Klimova, S. Y., Shestakov, A. I., Botina, S. G. y Netrusov, A. I. 2007. Orchid-associated bacteria produce indole-3-acetic acid, promote seed germination, and increase their microbial yield in response to exogenous auxin. Arch Microbiol. 188(6): 655-664.
- Tsavkelova, E. A., Klimova, S. Y., Cherdyntseva, T. A. y Netrusov, A. I. 2006. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: A review. Applied Biochemistry and Microbiology. 42(2): 117-126.
- Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A. y Nishihara, E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use and Manage. 27(2): 205-212.
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M. L., Touraine, B., Moenne-Loccoz, Y., Muller, D., Legendre, L., Wisniewski-Dye, F. y Prigent-Combaret, C. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. Front Plant Sci. 4(1): 1-19.
- Van, H. P. 2016. Phenolic compounds of cereals and their antioxidant capacity. Critical Reviews Food Science Nutrition. 56(1): 25-35.
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S. y Maggio, A. 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 4(5): 1-12.
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S. y Nasrulhaq Boyce, A. 2016. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability-A Review. Molecules. 21(5): 1-17.
- Velázquez, E., García-Fraile, P., Ramírez-Bahena, M.-H., Rivas, R. y Martínez-Molina, E. 2010. Bacteria involved in nitrogen-fixing legume symbiosis: current taxonomic perspective. Microbes for legume improvement (pp. 1-25). Springer.
- Vessey, K. J. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil. 255(1): 571-586.
- Vladimir-Knežević, S., Blažeković, B., Štefan, M. B. y Babac, M. 2012. Plant polyphenols as antioxidants influencing the human health. In R. Venketeshwer (Ed.). Phytochemical as nutraceuticals. Intechopen.
- Weston, L. A., Ryan, P. R. y Watt, M. 2012. Mechanisms for cellular transport and release of allelochemicals from plant roots into the rhizosphere. J Exp Bot. 63(9): 3445-3454.

- Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C. y Wong, M. H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*. 125(1): 155-166.
- Yaxley, R. J., Ross, J. J., Sherriff, J. L. y Reid, B. J. 2001. Gibberellin biosynthesis mutations and root development in pea. *Plant Physiology*. 125: 627-633.
- Zaidi, A., Ahmad, E., Khan, M. S., Saif, S. y Rizvi, A. 2015. Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: Current perspective. *Scientia Horticulturae*. 193: 231-239.
- Zaman, K. H., Nadeem, M., Iqbal, S., Akbar, N. y Iqbal, A. 2013. Response of spring maize (*Zea mays* L.) to integrated nitrogen management. *Crop & Environment*. 4(1): 6-10.
- Zhang, H., Tan, S. N., Teo, C. H., Yew, Y. R., Ge, L., Chen, X. y Yong, J. W. 2015. Analysis of phytohormones in vermicompost using a novel combinative sample preparation strategy of ultrasound-assisted extraction and solid-phase extraction coupled with liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Talanta*. 139(1): 189-197.
- Zuo, Y., Zhang, J., Zhao, R., Dai, H. y Zhang, Z. 2018. Application of vermicompost improves strawberry growth and quality through increased photosynthesis rate, free radical scavenging and soil enzymatic activity. *Sci. Hortic*. 233: 132-140.

ARTÍCULOS

Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate

Bioinoculants and concentration of the nutritive solution on the production and quality of tomato

Bernardo Espinosa-Palomeque¹, Pedro Cano-Ríos¹, Lilia Salas-Pérez², José Luis García-Hernández³, Pablo Preciado-Rangel¹, Jorge Sáenz-Mata³ y José Luis Reyes-Carrillo^{1*}

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez km 1.5 y Carretera a Santa Fe S/N. 27059 Torreón, Coahuila, México.

² Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Carretera El Vergel - La Torreña, km 0.820. 35120 Gómez Palacio, Durango, México.

³ Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad s/n Fracc. Filadelfia, 35010, Gómez Palacio, Durango, México.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar dos rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal [RPCV (*Bacillus paralicheniformis* y *Pseudomonas lini*)] inoculadas individual y co-inoculadas con dos concentraciones de solución nutritiva (SN) 75 y 100 % sobre la productividad y calidad de tomate en invernadero. Se compararon ocho tratamientos: T1= *B. paralicheniformis* + SN 75 %, T2= *P. lini* + SN 75 %, T3= co-inoculante + SN 75 %, T4= sin RPCV + SN 75 %, T5= *B. paralicheniformis* + SN 100 %, T6= *P. lini* + SN 100 %, T7= co-inoculante + SN 100 % y T8= sin RPCV + SN 100 %. El experimento se estableció en un diseño bloques al azar con 12 repeticiones. Los resultados indicaron que con el tratamiento T1 se obtuvieron los mayores valores para el rendimiento (2.09 kg/planta). El tratamiento T3 incrementó la capacidad antioxidante (46.19 µM ETrolox/100 g peso fresco) de los frutos con relación a los tratamientos sin RPCV (T4 y T8). El uso de RPCV puede ser una alternativa sostenible que permite disminuir la fertilización para mejorar la calidad sin disminuir el rendimiento de fruto, además de mitigar los efectos adversos de los fertilizantes inorgánicos en los sistemas de producción del cultivo de tomate.

Palabras claves: agricultura protegida, calidad nutraceutica, rendimiento, RPCV

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate two plant growth promoting rhizobacteria [PGPR (*Bacillus paralicheniformis* and *Pseudomonas lini*)] inoculated individually and co-inoculated with two concentrations of nutrient solution (SN), 75 and 100 %, on the productivity and quality of tomato in greenhouse. Eight treatments were compared: T= *B. paralicheniformis* + SN 75%, T2= *P. lini* + SN 75%, T3= co-inoculant + SN 75%, T4= without PGPR + SN 75%, T5= *B. paralicheniformis* + SN 100%, T6= *P. lini* + SN 100%, T7= co-inoculant + SN 100% and T8= without PGPR + SN 100%. The experiment was established in a randomized blocks design with 12 repetitions. The results indicated that with the T1 treatment the highest yield values were obtained (2.09 kg/plant). The T3 treatment increased the fruits antioxidant capacity (46.19 µM ETrolox/100 g fresh weight) in relation to the

treatments without PGPR (T4 y T8). The use of PGPR can be a sustainable alternative that allows reducing fertilization to improve quality without diminishing the fruit yield, besides mitigating the adverse effects of the inorganic fertilizers in the production systems of the tomato crop.

Keywords: protected agriculture, nutraceutical quality, PGPR, yield

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos hortícolas más cultivado en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. China es el principal productor con 54.8 millones de ton producidas. México ocupa el décimo lugar con una producción de 4 millones de ton (FAOSTAT, 2016). El fruto de tomate es una buena fuente dietética de vitaminas (A, C, E), ácido fólico, ascorbato, polifenoles, carotenoides y otros nutrientes esenciales. Estos compuestos presentan actividad antioxidante que ayudan a reducir los riesgos de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Al-Harbi *et al.*, 2017).

La superficie dedicada para la producción del cultivo de tomate se encuentra en continua expansión principalmente en ambientes protegidos, al mismo tiempo el uso de agroquímicos, particularmente, los fertilizantes inorgánicos los cuales sin un adecuado suministro pueden causar problemas en la salud humana y al ambiente (Salas-Pérez *et al.*, 2016). Una alternativa sostenible para disminuir los impactos negativos de los fertilizantes inorgánicos y aumentar la calidad de los frutos es la aplicación de bioinoculantes a base de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) (Kloepper y Schroth, 1978) los cuales son económicos, no contaminan al ambiente, contribuyen a la conservación de la fertilidad y biodiversidad del suelo, además, pueden suministrarse con dosis reducidas de fertilizantes inorgánicos (Chiquito-Contreras *et al.*, 2017).

Los géneros más importantes de RPCV incluyen *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia*, entre otros (Glick, 2012). Estos grupos de microorganismos colonizan las raíces de las plantas y mejoran el crecimiento de las plantas ya sea por

*Autor para correspondencia: José Luis Reyes-Carrillo
 Correo electrónico: jlreyes54@gmail.com

Recibido: 7 de noviembre de 2018

Aceptado: 14 de junio de 2019

mecanismos directos o indirectos (Shameer y Prasad, 2018). Los mecanismos directos son la producción de fitohormonas, fijación biológica de nitrógeno, disminución de la síntesis del etileno, la solubilización de nutrientes como P, K y Fe (Olanrewaju et al., 2017). Los mecanismos indirectos es la inhibición de uno o más fitopatógenos mediante la síntesis de antibióticos y sideróforos, la resistencia sistémica inducida y resistencia sistémica adquirida (Singh et al., 2017).

El uso de RPCV en combinación con fertilizantes inorgánicos mejoran el crecimiento de las plantas debido a un incremento en la absorción de nutrientes (Adesemoye et al., 2009). Dicho aumento se relaciona a que los fertilizantes inorgánicos incrementan las poblaciones de RPCV que producen principalmente ácido indol-3-acético y sideróforos en el medio de crecimiento (Yuan et al., 2010; Chiquito-Contreras et al., 2017). Aunado a lo anterior, la aplicación de los géneros rizosféricos *Bacillus* (*B. amyloliquefaciens* IN937a y *B. pumilus* T4) y *Pseudomonas* (*Pseudomonas* sp. 19Fv1T y *P. fluorescens*) con dosis reducidas del 50 y 30 % de la fertilización inorgánica han aumentado el crecimiento, rendimiento, la calidad organoléptica y nutracéutica de frutos de tomate desarrollados en condiciones de invernadero y campo, respectivamente (Toor y Savage, 2005; Bona et al., 2018). Con base en lo anteriormente señalado, el objetivo del presente estudio fue evaluar dos RPCV (*B. paralicheniformis* y *P. lini*) inoculadas individual y co-inoculadas con dos concentraciones de solución nutritiva 75 y 100 % sobre la productividad y calidad de tomate en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

Esta investigación se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano 2017, en un invernadero con enfriamiento automático, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México, en las coordenadas 25°33'26" N y 103°22'31" O; a una altitud de 1230 m. Durante los 120 días del ciclo del cultivo, la temperatura mínima y máxima en el interior del invernadero fluctuó entre 17.7 y 31.6 °C, respectivamente, mientras la humedad relativa mínima y máxima osciló entre 30 y 70 %.

Propagación de RPCV

Se utilizaron dos cepas *B. paralicheniformis* y *P. lini* perteneciente a la colección microbiana del Laboratorio de Ecología Microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Las cuales se han caracterizado como promotoras de crecimiento, ya sea por la producción de ácido indol acético (AIA), de sideróforos, actividad de la enzima del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) desaminasa o solubilizadoras de fosfato (Palacio-Rodríguez et al., 2017). Las cepas se propagaron individualmente en medio Luria Bertani en una incubadora con agitación de 200 rpm (Precision Scientific 815) durante 24 h a 30 °C, posteriormente la concentración bacteriana se ajustó a 1×10^8 UFC/mL con buffer fosfato salino al 0.5 x.

Material genético e inoculación de las plantas

Se sembraron semillas de tomate cv. Moctezuma (Harris Moran) en charolas de poliestireno de 200 cavidades, las cuales contenían Peat moss (Premier, México) como sustrato. Para mantener la humedad se cubrieron con plástico negro durante 72 h y se aplicaron riegos cada 24 h. Para la inoculación de las raíces de las plántulas de 12 días de emergidas se empleó el método de inmersión durante 5 min en la suspensión bacteriana. Los tratamientos testigos (T4 y T8) solo se trataron con agua destilada (González et al., 2018). La inoculación para *B. paralicheniformis* y *P. lini* se realizó de forma individual, además, a las plantas de los tratamientos denominados co-inoculante (T3 y T7) se inocularon con las dos RPCV.

Trasplante y manejo del cultivo

El trasplante se realizó 35 días después de la siembra colocando una planta por maceta. Como maceta se utilizaron bolsas de polietileno negro calibre 500, con una capacidad de 18 L. Las bolsas se llenaron con una mezcla a base de arena de río y perlita [Multiperl, México (80:20, v:v)]. Las bolsas se colocaron en doble hilera, con un arreglo topológico en tresbolillo a una distancia de 0.30 m entre planta y 1.60 m entre hilera con una densidad de 4.2 plantas/m². La arena de río se desinfectó previamente con una solución de 5 % de hipoclorito de sodio y se dejó secar al ambiente por tres días. A los cuatro días después del trasplante (ddt) se inició el riego aplicando la SN al 75 y 100 %. Las SNs fueron preparadas a partir de nitrato de calcio [Ca(NO₃)₂·4H₂O], nitrato de potasio (KNO₃), sulfato de magnesio (MgSO₄·7H₂O), sulfato de potasio (K₂SO₄), más micronutrientes (Maxiquel). El pH de las soluciones se ajustó a 5.5 con ácido fosfórico (H₃PO₄). La necesidad hídrica del cultivo se cubrió aplicando riegos de manera manual considerando tres etapas de desarrollo del cultivo a) antes de la floración, b) floración y c) producción, en las cuales se aplicaron un volumen de 0.5, 1 y 2 L/día, respectivamente. El agua de riego tuvo una conductividad eléctrica de 1.18 dS m⁻¹, RAS de 3.2, pH de 7.8, por lo que se clasificó como agua de baja salinidad y bajo contenido de sodio (Ayers y Westcot, 1994).

La cosecha de los frutos se realizó del primer al octavo racimo, cuando éstos presentaron un color rosa entre 30 y 60 % de acuerdo a la clasificación de color de USDA (1991).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con ocho tratamientos con 12 repeticiones. Los tratamientos fueron la combinación de RPCV y niveles de la concentración de la solución nutritiva Steiner (SN) (Steiner, 1961): T1= *B. paralicheniformis* + SN 75%, T2= *P. lini* + SN 75 %, T3= co-inoculante + SN 75 %, T4= sin RPCV + SN 75 %, T5= *B. paralicheniformis* + SN 100 %, T6= *P. lini* + SN 100 %, T7= co-inoculante + SN 100 % y T8= sin RPCV + SN 100 %. La unidad experimental fue una planta de un solo tallo por maceta.

Altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas

La altura de planta se midió desde la base del tallo hasta la yema apical con un flexómetro (Truper[®], México), el diámetro de tallo se determinó a un 1 cm de la base del tallo con un vernier digital (Truper[®], México) y se contó el número de hojas por planta, estas variables se evaluaron al final del ciclo del cultivo.

Rendimiento y calidad biofísica

Para determinar el efecto que inducen los tratamientos sobre la calidad biofísica de los frutos, se evaluaron las variables: tamaño del fruto (diámetro polar y diámetro ecuatorial) y el espesor de pericarpio utilizando un vernier, el contenido de sólidos solubles (determinado en °Brix, con un refractómetro Master-T ATAGO[®], Tokio, Japón), la firmeza con un penetrómetro con embolo de 3 mm (FHT200, Extech Instruments[®], USA), el peso promedio del fruto (utilizando una báscula Ohaus 3729[®], México); todas estas variables se determinaron en 15 frutos por planta, correspondiente a cada repetición de cada tratamiento. El rendimiento se obtuvo por planta, del primero al octavo racimo (Rodríguez *et al.*, 2007).

Para la determinación de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante, se mezclaron 2 g de muestra de fruto fresco con 10 mL de etanol en tubos de plástico con tapón de rosca. Se usó un agitador tipo "Stuart" para mantener la mezcla en agitación durante 24 h a 30 °C. Posteriormente, los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 5 min y los sobrenadantes (extracto etanólico) fueron utilizados para su análisis respectivo.

Fenoles totales

El contenido de fenoles totales se determinó usando una modificación del método descrito por Toor y Savage (2005). Doseados 250 µL de extracto etanólico se mezclaron con 3 mL de agua destilada, posteriormente se le añadieron 250 µL del reactivo Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich[®], St Louis MO, USA), se agitó con un vortex. Después de 3 min de reposo se añadieron 750 µL de carbonato de sodio (20 % p/v) y se agitó durante 10 s. La solución se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 min en oscuridad. La absorbancia de la solución se leyó a 750 nm en un espectrofotómetro Genesys 10UV (Madison[®], Wisconsin USA). Se calculó el contenido fenólico mediante una curva de calibración utilizando ácido gálico (Sigma-Aldrich[®], St Louis MO, USA) como estándar. Los resultados se registraron en mg de equivalente de ácido gálico por 100 g peso fresco (mg EAG/ 100 g peso fresco).

Flavonoides totales

El contenido de flavonoides totales se determinó usando el método colorimétrico propuesto por Zhishen *et al.* (1999). Para ello se mezclaron 500 µL de muestra del extracto etanólico con 1.25 mL de agua destilada, seguido se adicionaron 75 µL de NaNO₂ al 5 %. Después de 5 min de reposo se añadió 150 µL de AlCl₃ al 10 % y se dejó reposar durante 6 min. Posteriormente, se añadieron 500 µL de NaOH 1 M y 275 µL de agua destilada. Todos los componentes se mezclaron

con un vortex. La absorbancia se midió inmediatamente a 510 nm usando el espectrofotómetro (Genesys 10UV). Los resultados obtenidos se expresaron en mg de equivalentes de quercetina por 100 g peso fresco (mg EQ/100 g peso fresco).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se determinó basándose en el método descrito por Brand-Williams *et al.* (1995) con algunas modificaciones. Se preparó una solución de radical libre 1.1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH[•]) (Sigma-Aldrich[®], St Louis MO, USA) en etanol (5 mg/100 mL de etanol grado analítico), en un matraz cubierto con papel aluminio. La mezcla se agitó vigorosamente y el matraz se mantuvo cubierto para evitar la degradación rápida. La prueba de capacidad antioxidante se realizó mezclando 100 µL de muestra del extracto etanólico y 1.9 mL de DPPH[•]. Las lecturas se realizaron a 517 nm después de 90 min de incubación. La capacidad antioxidante total se calculó utilizando una curva estándar con el antioxidante de referencia Trolox y los resultados se expresaron en µM equivalentes Trolox por 100 g de peso fresco (µM ETrolox/100 g peso fresco). Los análisis se realizaron por triplicado.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para determinar las diferencias entre los tratamientos y la prueba múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$) para la comparación de medias. Los análisis se realizaron con el software estadístico Statistical Analysis System 9.0 (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN**Altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas**

Los resultados mostraron que la inoculación de RPCV y concentraciones de solución nutritiva influyeron en altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas ($P < 0.01$) (Tabla 1). Los mayores valores en altura de planta se encontraron con el tratamiento T6 con 281.41 cm, superando en 10.86 y 3.40 % a los tratamientos T4 y T8 (testigos), respectivamente. Le siguieron los tratamientos T3, T2 y T7 con valores de 278, 276.92 y 276 cm, respectivamente. En cuanto al número de hojas, en el tratamiento T6 se obtuvo diferencia significativa y un aumento del 10.34 % en comparación al T4. Aunque el número de hojas registradas en T6 fue numéricamente mayor que las mostradas al resto de los tratamientos, no hubo diferencia significativa entre ellos.

En conjunto, los resultados del presente estudio fortalecen la hipótesis de que los biofertilizantes a base de RPCV promueven el crecimiento de las plantas al aumentar las cantidades de nutrimentos absorbidos por las raíces y una acumulación en los tejidos vegetales. Ello se logra a través de una mayor disponibilidad de nutrimentos en la rizosfera (Abraham-Juárez *et al.*, 2018). Así también al mejorar la membrana plasmática involucrada en el proceso de nutrición a nivel del sistema radical al alterar la selectividad de Na⁺, K⁺ y Ca²⁺ y mantienen una mayor proporción de K⁺/Na⁺ en plantas bajo estrés salino (Vacheron *et al.*, 2013; Bharti *et al.*, 2016). Plantas de tomate inoculadas con *P. putida* y fertilizadas con

Tabla 1. Valores promedio obtenidos en altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas del tomate cultivado con diferentes niveles de solución nutritiva y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

Table 1. Average values obtained for plant height, stem diameter and number of leaves of tomato grown with different levels of nutrient solution and plant growth promoting rhizobacteria.

Tratamiento	Altura de planta	Diámetro de tallo	Número de hoja
	cm	mm	
T1 = <i>B. paralicheniformis</i> + SN 75 %	264.33±6.43 ^{ab}	6.33±0.14 ^{ab}	31.67±0.84 ^a
T2 = <i>P. lini</i> + SN 75 %	276.92±4.12 ^a	6.33±0.14 ^{ab}	30.50±0.66 ^{ab}
T3 = Co-inoculante + SN 75 %	278.00±5.57 ^a	6.00±0.24 ^b	30.33±0.76 ^{ab}
T4 = Sin RPCV + SN 75 %	253.83±6.03 ^b	6.42±0.14 ^{ab}	29.75±0.42 ^{ab}
T5 = <i>B. paralicheniformis</i> + SN 100 %	272.58±4.12 ^{ab}	7.00±0.21 ^a	31.92±0.46 ^a
T6 = <i>P. lini</i> + SN 100 %	281.42±2.51 ^a	6.17±0.11 ^b	32.00±0.49 ^a
T7 = Co-inoculante + SN 100 %	276.00±4.64 ^a	6.50±0.19 ^{ab}	31.75±0.60 ^a
T8 = Sin RPCV + SN 100 %	272.17±3.75 ^{ab}	6.08±0.19 ^b	29.00±0.52 ^b
Significancia	**	**	**
DMSH	20.53	0.78	2.63

^aLetras distintas en la misma columna indican diferencia significativa, según la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). Co-inoculante = inoculación *Bacillus paralicheniformis* + *Pseudomonas lini*, SN = solución nutritiva Steiner, ** = altamente significativo ($P < 0.01$), DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

N:P:K (17:17:17) incrementaron su altura, número de hojas y el contenido de clorofila, lo cual podría aumentar la fotosíntesis total, así mejorar la producción de biomasa del cultivo, con respecto a plantas no inoculadas (Babu et al., 2015). Dichos incrementos son de importancia debido a que el nitrógeno es parte estructural de la molécula de clorofila, es el componente principal de proteínas esenciales para la formación de protoplasma, que conduce a la elongación celular, la división

celular y en última instancia aumentar el crecimiento de las especies vegetales (Ramakrishnan y Selvakumar, 2012). Los resultados de este estudio y los reportados previamente por otros autores indican que una mayor altura de planta trae consigo incrementos en número de hojas, esto podría aumentar la fotosíntesis total, el peso del fruto y el rendimiento (Rodríguez et al., 2009).

En relación con el diámetro de tallo el tratamiento T5 presentó el mayor promedio con 7 mm, superando significativamente un 16.7 y 15.13 % a los tratamientos sin RPCV T4 y T8, respectivamente (Tabla 1). En los tratamientos con la dosis de fertilización reducida e inoculados con las RPCV (T1 al T3) se obtuvieron resultados similares a los de Xiao et al. (2015), quienes reportaron que cuando se redujo la dosis de fertilizantes inorgánicos y se usaron inoculantes a base de *B. subtilis* y *P. fluorescens* en el cultivo de tomate, la altura de planta y el diámetro de tallo fueron superiores o comparables a aquellos con fertilización completa sin inoculantes. Estos incrementos se atribuyen a que las RPCV aumentan la disponibilidad de nutrimentos en el medio radical, particularmente nitrógeno (fijación biológica de nitrógeno), fósforo (solubilización de fósforo) y hierro (producción de sideróforos), mejorando el desarrollo del sistema radical, aumentando la actividad enzimática de la planta o provocando una sinergia con microorganismos benéficos mejorando así su acción sobre la planta o inhibir sus patógenos (Tabassum et al., 2017).

Rendimiento y calidad biofísica

El número de fruto y rendimiento por planta mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos ($P < 0.01$). En contraste, el peso de fruto, firmeza y diámetro polar y diámetro ecuatorial no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) (Tabla 2). El mayor número de frutos se registró en los

Tabla 2. Valores promedio obtenidos en calidad biofísica de tomate cultivado con diferentes concentraciones de solución nutritiva y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

Table 2. Average values obtained in biophysical quality of tomato grown with different concentrations of nutrient solution and plant growth promoting rhizobacteria.

Tratamiento	PF	DP	DE	F	NF	RP
	g	cm		N		kg planta ⁻¹
T1	61.27±2.25 ^f	5.61±0.09	4.34±0.07	11.72±0.15	33.33±1.23 ^{af}	2.04±0.09 ^a
T2	59.81±1.85	5.62±0.09	4.30±0.04	11.83±0.15	31.00±0.97 ^{ab}	1.85±0.06 ^a
T3	61.74±2.37	5.73±0.10	4.41±0.08	11.60±0.07	19.33±1.86 ^c	1.18±0.09 ^b
T4	57.55±4.26	5.39±0.10	4.32±0.15	11.55±0.28	20.50±2.17 ^c	1.17±0.13 ^b
T5	61.86±1.36	5.67±0.03	4.38±0.04	11.85±0.17	29.67±2.91 ^{ab}	1.82±0.16 ^a
T6	56.80±1.97	5.47±0.07	4.31±0.05	11.77±0.17	23.50±1.98 ^{bc}	1.32±0.09 ^b
T7	56.78±3.69	5.45±0.16	4.22±0.13	11.17±0.37	23.33±2.59 ^{bc}	1.31±0.16 ^b
T8	57.06±3.90	5.65±0.15	4.23±0.12	11.57±0.17	19.83±1.17 ^c	1.11±0.05 ^b
Significancia	NS	NS	NS	NS	**	**
DMSH	13.07	0.48	0.42	0.95	8.90	0.479

^fLos datos son medias ($n = 12$) ± error estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa según la prueba Tukey ($P \leq 0.05$). PF= peso de fruto; DP= diámetro polar; DE= diámetro ecuatorial; F= firmeza del fruto; NF= número de fruto; RP = rendimiento por planta; NS = no significativo; ** = altamente significativo ($P < 0.01$), DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

tratamientos T1 (33.33), T2 (31.00) y T5 (29.67), mientras que la menor cantidad se obtuvo en el tratamiento T8 (19.83). Estudios previos por García *et al.* (2004) y Sarbadhikary y Mandal (2017) reportaron incrementos del 22.79 y 56.25 % en el número de frutos por planta de tomate al utilizar las cepas *B. licheniformis* y *B. subtilis*, respectivamente. Los aumentos en el número de fruto debido a las RPCV podría deberse a la capacidad de producción de fitohormonas, tales como: ácido indol-3-acético, ácido giberélico, zeatina, etileno y ácido abscísico (Singh, 2013).

Por otra parte, el rendimiento registrado en el tratamiento T1 resultó ser superior en 74.35 y 83 % a los tratamientos sin inocular T4 y T8, respectivamente. En cuanto a los tratamientos T2 y T5 resultaron estadísticamente iguales al tratamiento T1, sin embargo, mostraron diferencias significativas al resto de los tratamientos. Abdel-Monaim *et al.* (2012), reportaron incrementos significativos en el rendimiento por planta de tomate inoculadas de forma independiente con *B. cereus* y *B. megaterium*, respecto al testigo sin inocular. Resultados similares reportaron Gravel *et al.* (2007), con la aplicación de las cepas *Pseudomonas putida* B strain 1 en tomate cv. Trust F1 desarrollado en condiciones de invernadero. Lo anterior podría deberse a que el género *Bacillus* produce antibióticos, toxinas, sideróforos, enzimas líticas e inducen la resistencia sistémica, esto justifica el amplio uso de cepas de este género bacteriano como biofertilizantes para minimizar los efectos negativos en la productividad y calidad de los cultivos agrícolas causada por distintos fitopatógenos, así mismo reduciendo la contaminación de los suelos y mantos acuíferos por los agroquímicos (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018). De igual forma, el género *Pseudomonas* es usado como biofertilizantes debido a que ayuda en la producción de la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) deaminasa, sideróforos, ácido indo-acético (AIA) y la solubilización de fosfatos que estimulan el crecimiento de las plantas y la producción de frutos (Shameer y Prasad, 2018).

Aunque no hubo diferencia estadística en la variable peso de fruto, el tratamiento T5 registro aumentos del peso de fruto en un 8.41 % en comparación al T8 (Tabla 2). La capacidad de promover incrementos del peso de fruto en el genotipo estudiado se podría explicar en base a los mecanismos de las RPCV que influyen la producción de ácido-indol-acético y sideróforos, que son péptidos de bajo peso molecular y tienen alta afinidad con iones de Fe^{3+} , los cuales se han reportado ser eficaces como agentes de control biológico (Palacio-Rodríguez *et al.*, 2017), para mejorar el desarrollo de los cultivos e incrementar el peso de los frutos, por ende obtener un mayor peso de un mayor rendimiento (Babu *et al.*, 2015).

En cuanto a la firmeza de fruto no se mostraron diferentes estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados, sin embargo, el tratamiento T2 con la fertilización reducida e inoculado con *P. lini*, presentó un incremento de 2.42 y 2.24 % en comparación a los tratamientos testigos (T4 y T8). Resultados similares fueron encontrados por Esitken *et al.* (2010) quienes tampoco encontraron diferencias

significativas en frutos provenientes de plantas inoculadas con *Pseudomonas* BA-8, *Bacillus* OSU-142 y *Bacillus* M-3, no obstante, los frutos de plantas con *Bacillus* M-3 mostraron un incremento de 7.6 % en comparación al testigo. La firmeza del tejido del mesocarpio en los frutos es un buen indicador de la calidad, la textura y vida útil, asimismo, frutos con mayor firmeza podrían ser más resistentes a la pérdida progresiva de sus cualidades sensoriales causada por microorganismos. Por lo tanto, las plantas inoculadas con RPCV podrían disminuir el deterioro del fruto, debido a que reducen la actividad en la pared celular de la enzima poligalacturonasa implicada en el ablandamiento del fruto (Mena-Violante *et al.*, 2009).

En cuanto al diámetro polar y diámetro ecuatorial los mayores valores se presentaron en el tratamiento T3, con medias de 5.73 y 4.41 cm, respectivamente, los cuales corresponden a frutos de tamaño mediano de acuerdo a la norma oficial NMX-FF-031-1997-SCFI (1992) (Tabla 2). Aunque no existió significancia en el diámetro polar y diámetro ecuatorial el tratamiento T3 superaron en 1.42 y 4.25 % a los valores registrados en el tratamiento T8, respectivamente. En efecto, la inoculación con las RPCV generó ligeros incrementos en el tamaño de frutos, efectos que coinciden con lo encontrado por Esitken *et al.* (2006) quienes registraron un incremento del 1.06 %, en el tamaño de los frutos de plantas de cereza dulce inoculadas con la cepa bacteriana *Bacillus* OSU-142, en comparación con el testigo. El diámetro polar de fruto registrado en el T3 (5.73 cm) resultó ser superior al valor promedio (5.26 cm) reportado por Abdel-Monaim *et al.* (2012) al evaluar la calidad de tomate cv. Super Strain B co-inoculado con *Azotobacter* sp. + *B. cereus* + *B. megaterium* más fertilización inorgánica a base de N:P:K. La co-inoculación de microorganismos benéficos generalmente aumenta la productividad de los cultivos y disminuyen las enfermedades de las plantas con respecto a la inoculación individual de un microorganismo benéfico. La mayoría de los efectos de los microorganismos individuales o en co-inoculación son aditivos, sin embargo, se ha reportado un efecto sinérgico en algunos casos (Avis *et al.*, 2008). Con relación al diámetro ecuatorial fue similar al valor promedio reportado por Mena-Violante y Olalde-Portugal (2007) al evaluar la calidad de tomate cv. Río Fuego inoculado con *B. subtilis* BEB-13 bs más la aplicación de la solución Long Ashton. Por lo tanto, aunque la respuesta en la calidad biofísica fue similar en algunas variables evaluadas; hubo una disminución del 25 % en la concentración de la SN, lo cual puede permitir disminuir los costos en la producción del cultivo y minimizar los riesgos de contaminación ambiental generados por las aplicaciones excesivas de fertilizantes inorgánicos (Adesemoye *et al.*, 2009). Las RPCV ayudan a la solubilización de fosfatos, la resistencia al estrés, estabilizan los agregados y mejoran el contenido de materia orgánica del medio de crecimiento, además, retienen más N orgánico y otros nutrimentos, reduciendo el suministro de fertilizantes a base de nitrógeno y fósforo, optimizando la liberación de los nutrimentos (Abdel-Monaim *et al.*, 2012; Baset *et al.*, 2012; Tabassum *et al.*, 2017).

Fenoles y flavonoides totales

El tomate es un fruto con un alto contenido de compuestos bioactivos como el folato, el ascorbato, los polifenoles, los carotenoides y otros nutrientes (Al-Harbi et al., 2017). De acuerdo con el análisis estadístico, la concentración de la SN e inoculación de RPCV afectaron positivamente el contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante ($P < 0.01$), no así para sólidos soluble totales y flavonoides totales ($P > 0.05$) (Tabla 3). En relación con los sólidos solubles son importantes para definir la calidad de los frutos maduros de tomate. En el presente estudio todos los tratamientos presentaron frutos de calidad de acuerdo a los valores de sólidos solubles, ya que el tomate para procesos industriales y consumo en fresco deben contar con un valor de 4.5 °Brix (Rodríguez et al., 2007). Respecto a flavonoides totales, los valores obtenidos en este experimento oscilaron entre 14.33 y 24.52 mg EQ/100 g peso fresco, para los tratamientos T3 y T1, respectivamente. Siendo el tratamiento T1 el que presentó flavonoides totales más alto en comparación al resto de los tratamientos ($P > 0.05$, Tabla 3). La aplicación de bioinoculantes a base de RPCV propician un aumento en el contenido de fenoles y flavonoides en los frutos, debido que las RPCV afectan el metabolismo del azúcar y la concentración de vitaminas (vitamina C y B9) (Bona et al., 2015).

El mayor valor de compuestos fenólicos totales se mostró en el tratamiento T5, con valores de 30 mg de EAG/100 g peso fresco, superando en 34.58 y 41.04 % a los contenidos determinados en los tratamientos testigos (T4 y T8), respectivamente. Este comportamiento coincide con lo reportado por Fan et al. (2017), quien indica que el contenido de compuestos fenólicos fue mayor en frutos de tomate provenientes de plantas inoculadas con la cepa *B. licheniformis*

Tabla 3. Valores promedio de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante en frutos de tomate cultivado con diferentes concentraciones de solución nutritiva y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

Table 3. Average values of total phenols, total flavonoids and antioxidant capacity in tomato fruits grown with different concentrations of nutrient solution and plant growth promoting rhizobacteria.

Tratamiento	Sólidos solubles	Fenoles totales	Flavonoides totales	Capacidad antioxidante
	°Brix	mg EAG/100 g peso fresco	mg EQ/100 g peso fresco	µM Trolox/100 g peso fresco
T1	4.95±0.09	26.56±1.58 ^{ab}	24.52±3.84	31.29±2.23 ^b
T2	5.02±0.06	17.12±1.12 ^d	14.72±1.38	27.63±3.34 ^{bc}
T3	5.04±0.15	27.35±1.15 ^a	14.33±1.18	46.19±2.62 ^a
T4	4.83±0.25	22.95±1.74 ^{bc}	18.45±1.81	31.73±1.86 ^b
T5	5.03±0.07	30.00±0.79 ^a	22.48±1.60	40.06±1.26 ^a
T6	4.77±0.14	26.15±1.98 ^{ab}	17.59±1.98	41.21±1.03 ^a
T7	4.82±0.14	20.28±0.87 ^{cd}	20.64±4.25	28.85±1.97 ^{bc}
T8	4.87±0.19	21.27±1.67 ^c	18.22±1.81	23.41±2.21 ^c
Significancia	NS	**	NS	**
DMSH	0.6896	4.8484	3.4532	6.5604

† Los datos son medias (n = 12) ± error estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa según la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

NS= no significativo, **= altamente significativo ($P < 0.01$), DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

más el 50 % de fertilización en comparación a los frutos de planta fertilizadas solo al 50 %. Es posible que las diferencias determinadas para los fenoles totales pudieran ser atribuidas a una mayor conductividad eléctrica en la SN al 100 % (Al-Harbi et al., 2017). La síntesis de los compuestos fenólicos es una defensa de los cultivos vegetal contra un estrés tanto biótico como abiótico (Kim et al., 2010). El incremento de la conductividad eléctrica en el sistema radical causa estrés osmótico al disminuir la energía libre del agua, así afecta de manera negativa la absorción de agua y nutrientes. Dicho efecto podría haber incrementado la biosíntesis de metabolitos secundarios, como los compuestos fenólicos los cuales aumentan la actividad antioxidante de los frutos (Sánchez et al., 2016). Los valores encontrados en el presente estudio son mayores a los valores de 10.30 a 18.46 mg de EAG/100 g peso fresco de tomate reportados por Gahler et al. (2003), quienes aplicaron diferentes procesamientos para obtener subproductos: jugo de tomate, tomate al horno, salsa de tomate y sopa de tomate, en los cuales determinaron cómo son afectados los compuestos bioactivos (vitamina C, polifenoles y capacidad antioxidante). Registraron que los subproductos son afectados de manera significativa en el contenido de fenoles totales, dichas diferencias pueden deberse al material genético, a las actividades agrícolas y procesamiento.

Capacidad antioxidante

Los valores de la capacidad antioxidante en los frutos de tomate fluctuaron entre 23.41 y 46.18 µM Trolox 100 g peso fresco. La mayor capacidad antioxidante se presentó en el tratamiento T3 con un valor de 46.19 µM Trolox 100 g peso fresco, superando en 15.30 % al resto de los tratamientos, mientras que el testigo T8 presentó la menor actividad antioxidante (Tabla 3). Estos resultados coinciden con lo reportado por Ordookhain et al. (2010) quienes indican que el uso de RPCV aumentan la actividad antioxidante de los frutos de tomate debido a que ayudan a mitigar los factores ambientales que inducen el estrés oxidativo en las plantas como la contaminación del aire con ozono y dióxido de azufre, el uso excesivo de plaguicidas, la sequía y la salinidad. En términos general, los resultados obtenidos coinciden a los reportados por otros investigadores que han reportado un incremento significativo en el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidantes de los frutos de tomate al aplicar diferentes géneros de cepas de RPCV tanto de forma individual o co-inoculadas al utilizar diferentes niveles de fertilización inorgánica (Ahmed et al., 2017). Los resultados del presente estudio y los descritos anteriormente sugieren que la aplicación de RPCV podría ser una alternativa para obtener frutos de tomate con mayores contenidos de compuestos fenólicos y una mayor actividad antioxidante lo cual es importante para la salud pública porque contribuye a la prevención de algunas enfermedades.

CONCLUSIONES

Las variables analizadas para la fenología del cultivo de tomate cv. Moctezuma demostraron ser influenciadas

positivamente a la inoculación de RPCV. El rendimiento se incrementó en las plantas inoculadas con la cepa *B. paralicheniformis* y fertilizadas al 75 % de la solución nutritiva, lo cual permite disminuir los riesgos de contaminación generados por la aplicación excesiva de fertilización inorgánicos. La actividad antioxidante fue mejor en frutos provenientes de plantas co-inoculadas con las cepas *B. paralicheniformis* y *P. lini* y fertilizadas al 75 % de la solución nutritiva. Por lo tanto, la inoculación de RPCV es una alternativa sostenible de fertilización que permite reducir la fertilización; sin disminuir el rendimiento y la calidad del cultivo de tomate en condiciones de invernadero.

REFERENCIAS

- Abdel-Monaim, M.F., Abdel-Gaid, M.A., El-Morsy, M. y El-Morsy, A. 2012. Efficacy of rhizobacteria and humic acid for controlling fusarium wilt disease and improvement of plant growth, quantitative and qualitative parameters in tomato. *ESci Journal of Plant Pathology*. 1(1): 39-48.
- Abraham-Juárez, M., Espitia-Vázquez, I., Guzmán-Mendoza, R., Olalde-Portugal, V., Ruiz-Aguilar, G.M., García-Hernández, J.L., Herrera-Isidron, L. y Núñez-Palacios, H.G. 2018. Development, yield, and quality of melon fruit (*Cucumis melo* L.) inoculated with mexican native strains of *Bacillus subtilis* (EHRENBERG). *Agrociencia*. 52(1): 91-102.
- Adesemoye, A.O., Torbert, H.A. y Klopper, J.W. 2009. Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial Ecology*. 58(4): 921-929.
- Ahmed, B., Zaidi, A., Khan, M.S., Rizvi, A., Saif, S. y Shahid, M. 2017. Perspectives of plant growth promoting rhizobacteria in growth enhancement and sustainable production of tomato. En: *Microbial strategies for vegetable production*. A. Zaidi y M.S. Khan (ed.), pp 125-149. Cham, Switzerland. Springer Nature.
- Al-Harbi, A., Hejazi, A. y Al-Omran, A. 2017. Responses of grafted tomato (*Solanum lycopersicon* L.) to abiotic stresses in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 24(6): 1274-1280.
- Avis, T.J., Gravel, V., Antoun, H. y Tweddell, R.J. 2008. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*. 40(7): 1733-1740.
- Ayers, R.S. y Westcott, W.D. 1994. Water quality for agriculture. En: *Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1*. FAO (ed.), pp 174. Rome.
- Babu, N.A., Jogaiah, S., Ito, S., Kestur, N.A. y Tran, L.P. 2015. Improvement of growth, fruit weight and early blight disease protection of tomato plants by rhizosphere bacteria is correlated with their beneficial traits and induced biosynthesis of antioxidant peroxidase and polyphenol oxidase. *Plant Science*. 231(1): 62-73.
- Baset, M.M.A., Shamsuddin, Z.H., Wahab, Z. y Marziah, M. 2012. Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured *Musa* plantlets under nitrogen-free hydroponics condition. *Australian Journal of Crop Science* 4(2): 85-90.
- Bharti, N., Pandey, S.S., Barnawal, D., Patel, V.K. y Kalra, A. 2016. Plant growth promoting rhizobacteria *Dietzia natronolimnaea* modulates the expression of stress responsive genes providing protection of wheat from salinity stress. *Scientific Reports*. 6(1): 34768.
- Bona E., Lingua G., y Todeschini V. 2016. Effect of bioinoculants on the quality of crops. En: *Bioformulations: for sustainable agriculture*. N. Arona., S. Mehnaz y R. Balestrini (ed.), pp 93-124. India. Springer.
- Bona, E., Todeschini, V., Cantamesa, S., Cesaro, P., Copetta, A., Lingua, G., Gamalero, E., Berta, G. y Massa, N. 2018. Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization. *Scientia Horticulturae*. 234(1): 160-165.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. y Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*. 28(1): 25-30.
- Chiquito-Contreras, R.G., Murillo-Amador, B., Chiquito-Contreras, C.J., Márquez-Martínez, J.C., Córdoba-Matson, M.V. y Hernández-Montiel, L.G. 2017. Effect of *Pseudomonas putida* and inorganic fertilizer on growth and productivity of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) in greenhouse. *Journal of Plant Nutrition*. 40(18): 2595-2601.
- Estitken, A., Pirlak, L., Turan, M. y Sahin, F. 2006. Effects of floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrition of sweet cherry. *Scientia Horticulturae*. 110(4): 324-327.
- Estitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Figen Donmez, M., Turan, M. y Gunes, A. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*. 124(1): 62-66.
- Fan, X., Zhang, S., Mo, X., Li, Y., Fu, Y. y Liu, Z. 2017. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria and N source on plant growth and N and P uptake by tomato grown on calcareous soils. *Pedosphere*. 27(6): 1027-1036.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations FAOSTAT, Anuario estadístico de la FAO año 2014. [Consultado 02 Octubre 2017]. 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Gahler, S., Otto, K. y Bohm, V. 2003. Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(1): 7962-7968.
- García, J.A.L., Probanza, A., Ramos, B., Palomino, M.R. y Gutiérrez Mañero, F.J. 2004. Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. *Agronomie*. 24(4): 169-176.
- Glick, B.R. 2012. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica (Cairo)*. 2012: 963401.
- González, R.G., Espinosa, P.B., Cano, R.P., Moreno, R.A., Leos, E.L., Sánchez, G.H. y Sáenz, M.J. 2018. Influence of rhizobacteria in production and nutraceutical quality of tomato fruits under greenhouse conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Agrarias*. 9(2): 367-379.
- Gravel, V., Antoun, H. y Tweddell, R.J. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biology and Biochemistry*. 39(8): 1968-1977.
- Kim, G.D., Lee, Y.S., Cho, J.Y., Lee, Y.H., Choi, K.J., Lee, Y., Han, T.H., Lee, S.H., Park, K.H. y Moon, J.H. 2010. Comparison of the content of bioactive substances and the inhibitory effects against rat plasma oxidation of conventional and organic hot peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58(23): 12300-12306.



- Kloepper, J.W. y Schroth, M.N. 1978. Plant growth promoting rhizobacteria on radishes. En: Proceeding of the 4th international conference on plant pathogenic bacteria (Vol. 2). Gilbert-Clorey (ed.), pp 879-882. France.
- Mena-Violante, H.G., Cruz-Hernández, A., Paredes-López, O., Gómez-Lim, M.Á. y Olalde-Portugal, V. 2009. Cambios relacionados con textura de frutos y mejoramiento de la vida de anaquel por la inoculación de raíces de tomate con *Bacillus subtilis* BEB-13BS. *Agrociencia*. 43: 559-567.
- Mena-Violante, H.G. y Olalde-Portugal, V. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae*. 113(1): 103-106.
- Norma Oficial Mexicana NMX-FF-031-1997-SCFI, productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Hortalizas frescas. Tomate - (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Especificaciones. [Consultado 10 Febrero 2018]. 1992. Disponible en: http://sagarpa.gob.mx/agronegocios/Lists/Instrumentos%20Tcnicos%20Normalizacin%20y%20Marcas%20Colecti/Attachments/117/NMX_TOMATE.pdf
- Olanrewaju, O.S., Glick, B.R. y Babalola, O.O. 2017. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 33(197): 1-16.
- Ordookhain, K., Khavazi, K., Moezzi, A. y Rejali, F. 2010. Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. *African Journal of Agricultural Research*. 5(10): 1108-1115.
- Palacio-Rodríguez, R., Coria-Arellano, J.L., López-Bucio, J., Sánchez-Salas, J., Muro-Pérez, G., Castañeda-Gaytán, G. y Sáenz-Mata, J. 2017. Halophilic rhizobacteria from *Distichlis spicata* promote growth and improve salt tolerance in heterologous plant hosts. *Symbiosis*. 73(3): 179-189.
- Ramakrishnan, K. y Selvakumar, G. 2012. Effect of biofertilizers on enhancement of growth and yield on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *International Journal of Research in Botany*. 2(4): 20-23.
- Rodríguez, D.N., Cano, R.P., Favela, C.E., Figueroa, V.U., Álvarez, R.V.d.P., Palomo, G.A., Márquez, H.C. y Moreno, R.A. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(2): 185-192.
- Rodríguez, D.N., Cano, R.P., Figueroa, V.U., Favela, C.E., Moreno, R.A., Márquez, H.C., Ochoa, M.E. y Preciado, R.P. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*. 27(4): 319-327.
- Salas-Perez, L., González, F.J.A., García, C.M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terraza, S. y Preciado, R.P. 2016. Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova Scientia*. 8(17): 310-325.
- Sánchez, H.D.J., Fostis, H.M., Esparza, R.J.R., Rodríguez, O.J.C., De la Cruz, L.E., Sánchez, C.E. y Preciado, R.P. 2016. Empleo de vermicompost en la producción de frutos de melón y su calidad nutracéutica. *Interciencia* 41(3): 213-217.
- Sarbadhikary, S.B. y Mandal, N.C. 2017. Field application of two plant growth promoting rhizobacteria with potent antifungal properties. *Rhizosphere*. 3(1): 170-175.
- Statistical Analysis System SAS (2004). What's New in SAS 9.0, 9.1, 9.1.2 and 9.1.2. SAS institute Inc. Cary N. C. USA.
- Shameer, S. y Prasad, T.N.V.K.V. 2018. Plant growth promoting rhizobacteria for sustainable agricultural practices with special reference to biotic and abiotic stresses. *Plant Growth Regulation*. 84(3): 603-615.
- Singh, J.S. 2013. Plant growth promoting rhizobacteria potential microbes for sustainable agriculture. *Resonance*. 18(1): 275-281.
- Singh, V.K., Singh, A.K. y Kumar, A. 2017. Disease management of tomato through PGPB: current trends and future perspective. *3 Biotech*. 7(4): 255.
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. *Plant and Soil*. 15(2): 134-154.
- Tabassum, B., Khan, A., Tariq, M., Ramzan, M., Iqbal Khan, M.S., Shahid, N. y Aaliya, K. 2017. Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR. *Applied Soil Ecology*. 121: 102-117.
- Toor, R.K. y Savage, G.P. 2005. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*. 38(5): 487-494.
- United States Department of Agriculture. United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes. [Consultado marzo 02, 2016]. 1991. Disponible en: <https://www.ams.usda.gov/dDocName=STELPRDC5050331>
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M.L., Touraine, B., Moenne-Loccoz, Y., Muller, D., Legendre, L., Wisniewski-Dye, F. y Prigent-Combaret, C. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Frontiers in Plant Science*. 4(1): 1-19.
- Villarreal-Delgado, M.F., Villa-Rodríguez, E.D., Cira-Chávez, L.A., Estrada-Alvarado, M.I., Parra-Cota, F.I. y De los Santos-Villalobos, S. 2018. El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 36(1): 95-130.
- Xiao, Y.G., Chun, E.H., Tao, L. y Zhu, O. 2015. Effect of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on growth of greenhouse tomato and rhizosphere microbial community. *Journal of Northeast Agricultural University*. 22(3): 32-42.
- Yuan, C.-L., Mou, C.-X., Wu, W.-L. y Guo, Y.-B. 2010. Effect of different fertilization treatments on indole-3-acetic acid producing bacteria in soil. *Journal of Soils and Sediments*. 11(2): 322-329.
- Zhishen, J., Mengcheng, T. y Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. 64(4): 555-559.

Artículo 2.

1 **VERMICOMPOST ON THE PRODUCTION AND NUTRACEUTICAL QUALITY**
2 **OF JALAPEÑO PEPPER FRUITS (*Capsicum annuum* L)**

3
4 **VERMICOMPOST EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DE**
5 **FRUTOS DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L)**

6
7 **Bernardo Espinosa Palomeque¹, Pedro Cano Ríos¹, Lilia Salas-Pérez², Gabriela**
8 **González Rodríguez³, Arturo Reyes González⁴, Alma Velia Ayala Garay⁴, Pablo**
9 **Preciado Rangel^{5 ‡}**

10
11 ¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez
12 km 1.5 y Carretera a Santa Fe S/N. 27059 Torreón, Coahuila, México.

13 ² Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón,
14 Coahuila, México.

15 ³Universidad Tecnológica de Escuinapa, Mariano Rivas 50, Centro, 82400, Escuinapa, Sinaloa,
16 México.

17 ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Blvd José Santos
18 Valdez No 1200 Pte. Matamoros, Coahuila, Mexico.

19 ⁵Instituto Tecnológico de Torreón Carr. Torreón-San Pedro km 7.5, Ejido Ana, 27170 Torreón,
20 Coahuila, México.

21 ‡Autor responsable: ppreciador@yahoo.com.mx

22

23

SUMMARY

24 The vermicompost is used as a source of nutrients and substrate in protected horticulture
25 because it promotes crop production more sustainable. The objective was to evaluate different
26 proportions of vermicompost: sand (VC:S, v:v) on quality and yield of Jalapeño pepper
27 produced in greenhouse environments. Five proportions were compared VC:S, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4,
28 1:5 and a control: (Steiner nutrient solution). The experiment was established in a randomized
29 blocks design with ten replications. On average ratio VC:S (1:1) produce highest fruit weight,
30 fruit length, total phenolic compounds, flavonoids and antioxidant capacity against to control
31 treatment (0:1 VC:S). Those results indicate that VC is a fertilization alternative to increase
32 nutraceutical fruits quality, without decrease jalapeño pepper yield.

33

34 **Index words:** Organic fertilizers, protected agriculture, nutraceutical quality.

35

36

RESUMEN

37

38 El vermicompost es una fuente de nutrientes y sustrato en la horticultura protegida, porque
39 promueve la producción del cultivo más sostenible. El objetivo fue evaluar diferentes
40 proporciones de vermicompost: arena (VC: S, v:v) sobre la calidad y el rendimiento de chile
41 Jalapeño producido en condiciones de invernadero. Se compararon cinco proporciones VC: S,
42 1: 1, 1: 2, 1: 3, 1: 4, 1: 5 y un control: (solución Steiner). El trabajo se estableció bajo un diseño
43 de bloques al azar con diez repeticiones. En promedio, la proporción VC: S (1: 1) produce el
44 mayor peso de fruto, longitud de fruto, fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante en
45 comparación al tratamiento control (0:1 VC:S). Esos resultados indican que el VC es una

46 alternativa de fertilización para aumentar la calidad nutraceutica de los frutos, sin reducir la
47 producción del chile Jalapeño.

48

49 **Palabras clave:** fertilización orgánica, agricultura protegida, calidad nutraceutica.

50

51

INTRODUCTION

52

53 Chili is the oldest and most common vegetable in the world as a food condiment and
54 nutraceutical value, and it also has an important economic value. China is the main producer
55 with more than 17.5 million Mg, and Mexico is second with approximately 2.7 million Mg
56 (FAOSTAT, 2016). Chili fruit is a source of vitamins (A, E and C), carotenoids, capsaicinoids
57 and phenolic compounds with antioxidant properties for human diet (Korkutata and Kavaz,
58 2015). Most of these compounds protect human body against free radicals (Hallmann and
59 Rembialkowska, 2012). Epidemiological studies have shown beneficial effects of antioxidant
60 compounds in cancer prevention, cardiovascular diseases and neurodegenerative disorders
61 (Hamid *et al.*, 2010).

62 Beneficial effects of intake antioxidant compounds in human health play also an important
63 role in shelf life of fruits (Molina-Quijada *et al.*, 2010). In recent years the concern in study and
64 quantify antioxidant compounds of fruits has increased because of their nutraceutical properties
65 (Paz *et al.*, 2015). There is also a growing tendency of consumers to prefer healthy foods,
66 additives free, safe and nutritious (Hasperué *et al.*, 2015). A current option to produce high-
67 quality food with higher content of vitamins, phenolic compounds, sugars, and antioxidant

68 compounds is the organic production, which avoids the use of synthetic products chemical
69 (Pradeepkumar *et al.*, 2017; Salas-Pérez *et al.*, 2017).

70 In Mexico, the Jalapeño chili is one of the greatest crops regarding the economic value, due
71 to its wide consumption and to its high profitability and high labor demand (Macías *et al.*, 2012).
72 However, for obtaining high fruit yields is necessary to use fertilizers and pesticides in large
73 amounts, thus increasing production costs, creating risks in human health, and causing negative
74 impact on the environment (Castellanos *et al.*, 2017). To mitigate negative effects of fertilizers
75 and reduce the problem of organic solid waste generated by agricultural production systems in
76 a sustainable manner, one option is to use organic fertilizers such as vermicompost (VC) which
77 is a potential source of: i) soluble nutrients (Reyes-Pérez *et al.*, 2017), ii) enzymes (Álvarez-
78 Solís *et al.*, 2016), iii) bacterial activity (Maji *et al.*, 2017) and iv) production of humic and
79 fulvic acids and phytohormones capable of stimulate growth and crop yield in organic farming
80 systems (Mendes *et al.*, 2012).

81 In addition, there is evidence that supplying VC to soils or growth substrates promotes fruit
82 growth and production of various vegetables crops as: tomato (*Solanum lycopersicum* L.)
83 (Márquez-Quiroz *et al.*, 2014), lettuce (*Lactuca sativa* L.) (Kapoulas *et al.*, 2017), melon
84 (*Cucumis melo* L.) (Sánchez *et al.*, 2016), and cucumber (*Cucumis sativus* L.) (Díaz-Méndez *et*
85 *al.*, 2014), among other species from commercial interest. The VC helps to increase fruit yields
86 as well as the antioxidant activity of chili fruits (Castellanos *et al.*, 2017). However, the
87 incorporation of substrates derived from the decomposition of organic waste, including VC, can
88 cause high salinity and pH in root zone. To reduce the negative effects of VC it is necessary to
89 mix it with inert media such as river sand that is used in crop production without soil, to improve
90 their physical and chemical characteristics avoiding hypoxia and damage salinity, so it can be

91 used as a substrate or component in greenhouse conditions (Díaz-Méndez *et al.*, 2014). In this
92 context, the objective was to evaluate different proportions of vermicompost: sand (VC:S) on
93 yield and nutraceutical quality of chili in plants grown in greenhouse environments.

94

95

MATERIALS AND METHODS

96

Plant material and growth conditions

98

99 The research was conducted in a greenhouse provided with automatic cooling of the Antonio
100 Narro University located at Torreón, Coahuila, México (25° 33' 26" N, 103 ° 22' 31" W, at an
101 altitude of 1230 m). The studies crop was Jalapeño chili cv. Hijo de Mitla germinated in
102 polystyrene trays with 200 holes filled with, peat moss (Premier[®], México) as substrate. These
103 plant trays were covered with black plastic for 72 h and irrigated every 24 h. The transplant was
104 made 45 days after seed sowing when plants presented average tallness of 150 mm, each plant
105 per pot. The pots were black bags of polyethylene of 500 thickness and 18 L capacity, filled
106 with different proportions of VC:S, Sand from the river was washed and disinfected using 5%
107 sodium hypochlorite solution. The bags were located in double row at 30 cm from center to
108 center between bags and 1.60 m between rows, to get plant density of 4.2 plants m². Crop water
109 requirements were provided by manual irrigation, as detailed next. For treatments T1 to T5 the
110 average water supply at four days after planting (DAP) was 0.5 L day⁻¹ pot⁻¹, then increased to
111 1 L day⁻¹ at 40 DAP, until it reached 2 L day⁻¹ after 60 DAP. In the control treatment pots were
112 watered with the Steiner nutrient solution at an average rate of 0.5 L day⁻¹ to the four DAP, and
113 the increased to 1 and 2 L day⁻¹ at 40 and 60 DAP, respectively. Tap water showed small salinity

114 and small sodium content (Ayers and Westcot, 1994). The crop season lasted 120 DAP. The
 115 weather conditions inside greenhouse were: maximum and minimum temperature of 32.3 and
 1161 17.4 °C, respectively, and relative humidity oscillating between 30 and 70%.

1
6

1171
1
7

1181 **Design of experiment and treatments**

1
8

1191
1
9

120 The randomized complete block design was used, with ten repetitions, five treatments (T1
 121 to T5) evaluated were proportions of vermicompost:sand (VC:S, v:v) 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 plus
 122 a control (T6) that consisted of 100% sand with Steiner nutrient solution (Steiner, 1961) with
 123 pH adjusted to 5.5 and electric conductivity to 2.0 dS m⁻¹. The VC was obtained by
 124 biotransformation a mixture of manures (goats, horses, and rabbits, 1:1:1; v:v:v) with worms
 125 *Eisenia fetida* earthworms during 90 days (Bhat *et al.*, 2015). The chemical analysis of VC is
 1261 displayed in next table

2
6

1271
2
7

128 **Table 1.** Chemical characteristic of the vermicompost evaluated as a growth medium in the
 129 cultivation of Jalapeño pepper under greenhouse conditions.

Substrate	N	P	K	Fe	Mn	Cu	Zn	Ca	Mg	MO [†]	pH	EC
	----- mg kg ⁻¹ -----						- meq L ⁻¹ -		%			dS cm ⁻¹
VC	125.1	81.8	342.0	5.25	4.55	1.21	3.98	27.99	2.01	21.80	8.40	4.65
S	3.9	10.9	91.0	1.52	2.56	0.44	0.87	6.01	0.20	2.01	7.85	0.92
OR	> 30.0	> 30.0	> 170	2.5 - 4.5	1.0-2.5	0.30-1.0	0.5-1.0	‡	‡	> 3.0	6.5-7.5	2.0-8.0

130 †MO = organic matter, EC = electrical conductivity, VC = vermicompost, S= sand, OR=
 131 optimum range, values recommended by the soil laboratory of the Cooperativa Agropecuaria de

132 la Comarca Lagunera, ‡ = value not indicated.
133

134 **Fruit yield and commercial quality**

135

136 In each experimental unit, the yield was estimated considering the number and the weight of
137 the individual fruit per plant. The quality of fruit was evaluated in 15 fruits randomly sampled
138 per plant in every treatment and repetition, by recording individual fruit traits such as weight
139 with a balance (Ohaus 3729[®], México), length, equatorial diameter and pericarp thickness with
140 a vernier (Truper[®], México) and firmness with a penetrometer (FHT200, Extech Instrumets[®];
1411 USA) provided with 3 mm plunger.

4

1

1421

4

2

1431 **Nutraceutical quality**

4

3

1441

4

4

145 **Extract preparation:** for nutraceutical quality determination (phenolic compounds,
146 flavonoids, and antioxidant capacity), samples of 2 g fruit fresh were mixed with 10 mL ethanol
147 in plastic tubes that were closed with a screw cap. A stirrer type "Stuart" was used to keep
148 mixture stirring for 24 h. After that tubes were centrifuged at 3000 rpm during 5 minutes. The
149 supernatants were extracted for their physical-chemical analysis.

150 **Total phenolic content:** was determined using a modified Folin-Ciocalteu method (Esparza
151 *et al.*, 2006). The results were expressed in mg of gallic acid equivalents per 100 g⁻¹ fresh weight
152 basis (mg GAE 100 g⁻¹ fresh weight).

153 **Total flavonoid content:** was determined using the colorimetric method proposed by
154 Zhishen *et al.* (1999). The results were reported in mg of quercetin equivalents per 100 g⁻¹ fresh
155 weight basis (mg QE 100 g⁻¹ fresh weight).

156 **Antioxidant capacity:** was determined based on the Brand-Williams *et al.* (1995) results

157 were reported in μM Trolox per 100 g^{-1} of fresh weight (μM Trolox 100 g^{-1} fresh weight).

1581 **Statistical analysis**

5
8

1591

5
9

160 All variables described above were analyzed through ANOVA. In cases where the statistical
161 difference was found, mean comparisons were made applying Tukey test ($p \leq 0.05$) (SAS,
1621 2004).

6
2

1631

6
3

1641 **RESULTS AND DISCUSSION**

6
4

1651

6
5

1661 **Fruit yield and commercial quality**

6
6

1671

6
7

168 Proportions of VC:S showed significant differences in fruit weight, fruit length and yield (p
169 < 0.05), while the equatorial diameter, pericarp thickness, strength and fruit number the
170 differences were highly significant ($p < 0.01$) (Table 2). The average fruit weight of organic
171 treatments was higher than the control. In addition, plants fruits developed in treatment T1,
172 exceed in 54.02% the fruits weight respect to the control plants. Organic treatments affected
173 positively plant height, which increases photoassimilates, which allows increasing the fruit
174 weight (Rodríguez *et al.*, 2009). Also is possible that treatments based on VC, assimilates

175 demand and other phytohormones in apical tissues are reduced, which helps the content of
176 cytokinins and the accumulation of photoassimilates in fruits (Márquez-Quiroz *et al.*, 2014).
177 The fruit weight gotten in treatments with VC (T1 to T5) corresponds to medium size according
178 to the standards of NMX-FF-025-SCFI-2014 (2014). The results of this variable were similar
179 to found by López-Gómez *et al.* (2012) and Moreno *et al.* (2014) who reported greater fruit
180 weight in chilies grown with VC.

181 **Table 2.** Average values of agronomic variables evaluated in Chili Jalapeño cv. Hijo de Mitla, after
 182 applying vermicompost mixtures with sand, in plants grown under greenhouse conditions.

Treatment	FW	FL	ED	PT	F	FN	Y
	g	----- cm -----			N		Mg ha ⁻¹
T1	22.02 a [†]	7.22 a	2.76 a	0.36 ab	12.72 ab	35.33 b	32.54 a
T2	21.00 a	6.76 ab	2.79 a	0.39 ab	13.64 a	32.67 bc	28.84 ab
T3	21.21 a	6.90 ab	2.69 ab	0.41 a	11.65 ab	27.33 de	24.48 ab
T4	19.58 ab	6.66 ab	2.77 a	0.35 b	13.06 a	29.17 cd	23.94 ab
T5	21.51 a	6.36 ab	2.82 a	0.37 ab	13.12 a	23.67 e	21.73 b
T6	14.29 b	6.00 b	2.26 b	0.27 c	10.89 b	47.00 a	28.26 ab
HSD _(0.05)	6.3091	1.1316	0.4386	0.0523	2.0721	4.445	8.8647
CV (%)	17.78	9.56	9.19	8.17	9.30	7.68	18.70
Standard error	0.75	0.12	0.05	0.01	0.24	1.33	1.08

183 [†]Values with different letter in each column indicates significant difference at p<0.05 according to Tukey
 184 test. FW = fruit weight, FL = fruit length, ED = equatorial diameter, PT = pericarp thickness, F =
 185 firmness, FN = fruit number, Y = yield. HSD= honest significant difference, CV = coefficient of
 186 variation.

187187

188 Concerning fruit size (length and equatorial diameter) T1 and T5 had highest average 7.32
 189 and 2.82 cm, which correspond to first commercial quality fruits (Vázquez-Vázquez *et al.*,
 190 2011), and were highest in 22 and 24% in length and equatorial diameter to fruits of the control,
 191 respectively. The results can be explained due to high content of potassium and contribution of
 192 other nutrients by VC (Table 1), which ensure proper growth and plants development (Pérez *et*
 193 *al.*, 2017), also appropriate concentrations increase fruit size (Morón and Alayón, 2014). The
 194 length registered was higher than found by Macías *et al.* (2012) in chili fruits cv. Mitla, from
 195 plants fertilized with chicken and cattle manure under open field conditions, the results were
 196 slightly lower to fruit length interval, from 8.09 to 8.83 cm, determined by López-Espinosa *et*
 197 *al.* (2013). On the other hand, the equatorial diameter was 31.16 and 50% higher than average
 198 values reported by Macías *et al.* (2012), under management conditions already described and
 199 Álvarez-Solís *et al.* (2016) to assess the quality and yield of Jalapeño pepper fertilized with
 2002 Bokashi.

0
0

2012
0
1

202 The highest value of pericarp thickness recorded in T3 treatment was 0.41 cm, exceeding
203 33.33% of the control treatment (Table 3). The fruits of organic treatments showed a greater
204 pericarp thickness, which is desirable since this feature is directly related to fruit weight (Coelho
205 *et al.*, 2003), also increase the shelf life due to increases firmness of fruits (Mena-Violante *et*
206 *al.*, 2009). The pericarp thickness obtained in treatment T3 was higher than the average of 0.27
207 cm found by Berova *et al.* (2013) when supplied 100 cm³ of VC to the chili crop cv. Gorogled
208 6. Also, it was slightly lower than the average value of 0.58 cm reported by López-Espinosa *et*
209 *al.* (2013), for pepper fruits using organic fertilizers. The firmness fruit increased 19.93, 20.48
210 and 25.25% in treatments T4, T5 and T2, respectively, in comparison to fruits of the control
211 treatment. Fruit firmness increased because of optimum level of potassium in organic fertilizers.
212 Increased potassium in fruit firmness was related to greater tissue pressure potential. It indicates
213 that potassium levels provided by VC (Table 1) increased fruits firmness (Kumar and
214 Ponnuswani, 2013). This behavior coincides with reported by Aminifard and Bayat (2016) who
215 indicate that firmness is significantly higher in chili fruits from plants fertilized with VC
216 compared to fruits inorganically fertilized plants. Previous results were similar to Singh *et al.*
217 (2008), who reported application of VC at rate of 2.5 to 10 Mg ha⁻¹ in the strawberry crop
218 increased firmness fruit compared to inorganic fertilization. On the other hand, firmness value,
219 13.64 N obtained in fruits of T2 treatment was 116.5% higher than 6.3 N registered by Palma-
220 Zavala *et al.* (2009), in chili fruits cv. Mitla conventionally produced., Cooper *et al.* (1998)
221 indicate that fruits with greater firmness could be more resistant to decay caused by
222 microorganisms, therefore plants fertilized with VC increase not only firmness but also could
223 decrease fruit deterioration.

224 Yield variations were due to fruit number per plant and not weight thereof (Table 3). The
225 highest yield was recorded in T1, with 32.54 Mg ha⁻¹, exceeding 11.37% to the rest of the
226 treatments. The VC increases organic matter, nitrogen, phosphorus, and phytohormones in
227 growth medium, which promotes development and activity of root system. Well developed root
228 system tends to register higher plant yield (Zuo *et al.*, 2018). Yield of treatment T1 was superior
229 to report by Morón and Alayón (2014), who determined values of 17.3 Mg ha⁻¹ of Jalapeño cv.
230 Don Benito in open field with inorganic fertilization. Likewise, general average yield was 26.63
231 Mg ha⁻¹, that is 67.38% more than the yield obtained by Mexican producers whose value was
232 15.91 Mg ha⁻¹ (SIAP, 2016). Treatments T1 and T2, showed increases in yield of 15.14 and
233 2.05%, respectively, compared with control. The increased yields in T1 and T2, compared to
234 T3, T4 and T5 may be the result of better physical properties of the substrate by using greater
235 proportions of VC (>30%) (Sánchez *et al.*, 2016). This effect is because the optimum ratio of
236 VC stimulates development and crop production (Pradeepkumar *et al.*, 2017), because of slow
237 gradual nutrients liberation, improved physical and chemical properties of substrate (Salas-
238 Pérez *et al.*, 2017), microorganisms presence (Maji *et al.*, 2017), as well as the contributions of
2392 phytohormones and humic acids that accelerate cell division (Mendes *et al.*, 2012).

3
9

2402
4
0

2412 **Nutraceutical fruit quality**

4
1

2422
4
2

243 Different proportions of VC:S applied to chili cultivation affected the contents of phenolic
244 compounds ($p < 0.05$) and total fruit flavonoids ($p < 0.01$, Table 3). The highest phenolic content

245 and total flavonoids were obtained for T1, with values of 68.60 mg of GAE 100 g⁻¹ fresh weight
246 and 106.80 mg QE 100 g⁻¹ fresh weight, exceeding in 39.06 and 56.07% to the control treatment,

247 respectively. This result coincides with established by Aminifard and Bayat (2016), who said
248 that phenolic compounds in organic products are higher than conventional products. The
249 synthesis and accumulation of phenolic compounds are a defense mechanism against biotic and
250 abiotic stress (Kim *et al.*, 2010). Also, it is possible that the differences determined for phenolic
251 and total flavonoids could be attributed to salinity caused by VC in the root medium (Grimaldo-
252 Pantoja *et al.*, 2017). Salinity in the medium causes osmotic stress when free energy of water
253 decreases, reducing water and nutrients absorption. This restriction increases biosynthesis of
254 secondary metabolites, such as polyphenols, which promote a better nutraceutical fruit quality
255 (Sánchez *et al.*, 2016). On the other hand, total phenolic compounds values greatly exceeded the
256 mean value of 40.3 mg of AG/100 fresh weight found by Aminifard *et al.* (2012) Chili fruits cv.
257 Red chili. Value of GAE 68.60 mg 100 g⁻¹ fresh weight recorded for T1, exceeded 119.94% of
258 total phenolic content of 31.19 mg of GAE 100 g⁻¹ fresh weight in fruits chili cv. Almuden,
2592 whose plants were developed with application of inorganic fertilizers (Pérez-López *et al.*, 2007).

5
9

2602
6
0

261 Antioxidant capacity of chili fruits was significantly affected by proportions of VC:S ($p <$
262 0.01), values ranged between 41.90 and 68 μM Trolox 100 g⁻¹ fresh weight. The highest
263 antioxidant capacity was presented in T1 with the value of 68.12 μM Trolox 100 g⁻¹ fresh
264 weight, exceeding at 29.90% all treatments, while the control showed lowest (41.90 μM)
265 antioxidant activity (Table 3). Increases of antioxidant capacity in fruits with organic treatments,
266 maybe due to the presence of phenylalanine in organic fertilizers which is the precursor of
267 several phenolic substances that contribute to increasing total phenolic compounds (Kumar and
268 Ponnuswani, 2013), these compounds present positive correlation with antioxidant activity
269 (Sánchez *et al.*, 2016). Nevertheless, increase on antioxidant activity of chili fruits registered in

270 T1 derived from application of VC could be due, according to Preciado-Rangel *et al.* (2015) and
 271 Flores *et al.* (2009) to high content of soluble salts and nitrogen present in organic fertilizer
 272 (Table 1), these chemical characteristics could cause a nutritional stress, which promotes plant
 273 mechanisms defense and antioxidants production. In general, similar results were reported by
 274 other researchers who have found significant increase in phenolic compounds content and
 275 antioxidant capacity of chili when applying organic fertilizers concerning application of
 2762 synthetic fertilizers (Aminifard *et al.*, 2012).

7
6

2772
7
7

278 **Table 3.** Average values of nutraceutical fruit quality evaluated in Chili Jalapeño cv. Hijo
 279 de Mitla obtained with different vermicompost: sand proportion under greenhouse conditions.

Treatment	Total phenols (mg de GAE 100 g ⁻¹ fresh weight)	Flavonoids (mg QE 100 g ⁻¹ fresh weight)	Antioxidant capacity (µM Trolox 100 g ⁻¹ fresh weight)
T1	68.60 a [†]	106.80 a	68.12 a
T2	56.60 ab	86.83 ab	46.84 b
T3	64.60 ab	93.95 ab	52.44 ab
T4	57.93 ab	70.15 b	56.08 ab
T5	56.80 ab	66.25 b	48.10 b
T6	49.33 b	68.43 b	41.90 b
HSD _(0.05)	16.809	32.036	18.012
CV (%)	12.41	16.99	15.00
Standard error	1.83	4.02	2.24

280 [†]Values with a different letter in each column indicate significant difference at p<0.05 according
 281 to Tukey test. HSD= honest significant difference, C.V. = coefficient of variation.
 282

283 Following results presented in this research, VC in the substrate could be an alternative to
 284 obtain fruits with higher phenolic compounds content and better antioxidant activity which is
 285 important for public health because it can contribute for protecting from some diseases, besides,

2862 7
8
6

2872
8

and
ver
mic
om
post
is
frie
ndl
y
wit
h
the
env
iron
me
nt.

288

CONCLUSIONS

289

290 The vermicompost used as a component substrate medium for plant growth produces
291 favorable effects on the crop chili cv. Hijo de Mitla cultivated under greenhouse conditions in a
292 hydroponic system, because it stimulates the fruit quality. The VC:S ratio (1:1) registered
293 highest, total phenolic compounds, and antioxidant capacity compared to the control; those are
294 evidence the possibility for producing jalapeño pepper in organic substrates. The VC could be
295 a sustainable alternative to be used as a source of nutrients and growth medium to obtain a better
296 nutraceutical quality of pepper fruits, besides contribute to preserving the environment without
297 inorganic fertilizers supply.

298

299

LITERATURE CITED

300

301 Álvarez-Solís, J. D., J. A. Mendoza-Núñez, N. S. León-Martínez, J. Castellanos-Albores, and F. A. Gutiérrez-Miceli. 2016.
302 Effect of bokashi and vermicompost leachate on yield and quality of pepper (*Capsicum annuum*) and onion (*Allium cepa*)
303 under monoculture and intercropping cultures. *Cienc. Investig. Agrar.* 43: 243-252. doi:10.4067/S0718-
304 16202016000200007.

305 Aminifard, M. H., H. Aroiee, M. Azizi, H. Nemati, and H. Z. E. Jaafar. 2012. Effect of humic acid on antioxidant activities and
306 fruit quality of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Herbs Spices Med. Plants.* 18: 360-369.
307 doi:10.1080/10496475.2012.713905.

308 Aminifard, M. H., and H. Bayat. 2016. Effect of vermicompost on fruit yield and quality of bell pepper. *Int. J. Hortic. Sci.*
309 *Techonol.* 3: 221-229. doi:10.22059/ijhst.2017.209130.129

310 Ayers, R. S., and W. D. Westcot. 1994. Water quality for agriculture. In: FAO (ed.). *Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1.*
311 Rome. pp: 174.

312 Berova, M., G. Pevicharova, N. Stoeva, Z. Zlatev, and G. Karanatsidis. 2013. Vermicompost affects growth, nitrogen content,
313 leaf gas exchange and productivity of pepper plants. *J. Elementol.* 18: 565-576. doi:10.5601/jelem.2013.18.4.393.

314 Bhat, S. A., J. Singh, and A. P. Vig. 2015. Potential utilization of bagasse as feed material for earthworm *Eisenia fetida* and
315 production of vermicompost. Springerplus. 4: 1-9. doi:10.1186/s40064-014-0780-y

316 Brand-Williams, W., M. E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-
317 Food Sci. Technol. 28: 25-30.

318 Castellanos, Z. J., P. Cano-Ríos, E. M. García-Carrillo, V. Olalde-Portugal, P. Preciado-Rangel, J. L. Ríos-Plaza, and J. L.
319 García-Hernández. 2017. Hot pepper (*Capsicum annuum* L.) growth, fruit yield, and quality using organic sources of
320 nutrients. Compost Sci. Util. 25: 570-577. doi:10.1080/1065657X.2017.1362673

321 Coelho, E. L., F. P. C. Rezende, F. L. Finger, and A. A. Cardoso. 2003. Qualidade do fruto de melão rendilhado em função de
322 doses de nitrogênio. Bragantia. 62: 173-178.

323 Cooper, W., M. Bouzayen, A. Hamilton, C. Barry, S. Rossall, and D. Grierson. 1998. Use of transgenic plants to study the role
324 of ethylene and polygalacturonase during infection of tomato fruit by *Colletotrichum gloeosporioides*. Plant Pathology. 47:
325 308-316.

326 Díaz-Méndez, H. A., P. Preciado-Rangel, V. P. Álvarez-Reyna, M. Fostis-Hernández, J. L. García-Hernández, y E. Sánchez-
327 Chávez. 2014. Producción orgánica y capacidad antioxidante de frutos de pepino. ITEA-Inf. Tec. Econ. Agrar. 20: 1-8.

328 Esparza, R. J. R., B. M. Stone, C. Stushnoff, E. Pilon-Smits, and A. P. Kendall. 2006. Effect of ascorbic acid applied by two
329 hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf lettuce stored at 5 °C. J. Food Sci. 71: 270-276.

330 FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016.
331 <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Consulta: octubre 2017).

332 Flores, P., P. Hellín, A. Lacasa, A. López, and J. Fenoll. 2009. Pepper antioxidant composition as affected by organic, low-input
333 and soilless cultivation. J. Sci. Food Agric. 89: 2267-2274. doi:10.1002/jsfa.3719.

334 Grimaldo-Pantoja, G. L., G. Niu, Y. Sun, A. Castro-Rocha, E. Álvarez-Parrilla, J. P. Flores-Márquez, B. Corral-Díaz, y P. Osuna-
335 Ávila. 2017. Efecto negativo del riego salino en componentes del rendimiento y fitoquímicos en chile (*Capsicum annuum*)
336 inoculado con hongos micorrízicos arbusculares. Rev. Fitotec. Mex. 40: 141-149.

337 Hallmann, E., and E. Rembalkowska. 2012. Characterisation of antioxidant compounds in sweet bell pepper (*Capsicum annuum*
338 L.) under organic and conventional growing systems. J. Sci. Food Agric. 92: 2409-2415.

339 Hamid, A. A., O. O. Aiyelaagbe, L. A. Usman, O. M. Ameen, and A. Lawai. 2010. Antioxidants: its medicinal and
340 pharmacological applications. Afr. J. Pure Appl. Chem. 4: 132-151.

341 Hasperué, J. H., L. Lemoine, A. R. Vicente, A. R. Chaves, and G. A. Martínez. 2015. Postharvest senescence of florets from
342 primary and secondary broccoli inflorescences. Postharvest Biol. Technol. 104: 42-47.
343 doi:10.1016/j.postharvbio.2015.02.015.

344 Kapoulas, N., A. Koukounaras, and Z. S. Ilić. 2017. Nutritional quality of lettuce and onion as companion plants from organic
345 and conventional production in north Greece. *Sci. Hort.* 219: 310-318. doi:10.1016/j.scienta.2017.03.027.

346 Kim, G. D., Y. S. Lee, J. Y. Cho, Y. H. Lee, K. J. Choi, Y. Lee, T. H. Han, S. H. Lee, K. H. Park, and J. H. Moon. 2010.
347 Comparison of the content of bioactive substances and the inhibitory effects against rat plasma oxidation of conventional
348 and organic hot peppers (*Capsicum annuum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 58: 12300-12306. doi:10.1021/jf1028448

349 Korkutata NF, Kavaz A (2015) A comparative study of ascorbic acid and capsaicinoid contents in red hot peppers (*Capsicum*
350 *annum* L.) grown in Southeastern Anatolia Region. *International Journal of Food Properties* 18: 725-734.
351 doi:10.1080/10942912.2013.850507.

352 Kumar, M. S., and V. Ponnuswani. 2013. Effect of different water regimes and organic manures on quality parameters of noni
353 (*Morinda citrifolia*). *Afr. J. Agric. Res.* 8: 3534-3543. doi:10.5897/ajar2013.7330.

354 López-Espinosa, S. T., A. Moreno-Reséndez, P. Cano-Ríos, N. Rodríguez-Dimas, V. Robledo-Torres, y C. Márquez-Quiroz.
355 2013. Organic fertilization: an alternative to produce jalapeño pepper under greenhouse conditions. *Emir. J. Food Agric.*
356 25: 666-672.

357 López-Gómez, B., A. Lara-Herrera, A. Bravo-Lozano, J. Lozano-Gutiérrez, J. Avelar-Mejía, M. Luna-Flores, and J. Llamas-
358 Llamas. 2012. Improvement of plant growth and yield in pepper by vermicompost application, in greenhouse conditions.
359 *Acta Hort.* 947: 313-317.

360 Macías, D. R., C. R. L. Grijalva, y C. F. Robles. 2012. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento
361 y calidad de chile jalapeño. *Biocencia.* 14: 32-38.

362 Maji, D., P. Misra, S. Singh, and A. Kalra. 2017. Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial
363 community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. *Appl.*
364 *Soil Ecol.* 110: 97-108. doi:10.1016/j.apsoil.2016.10.008.

365 Márquez-Quiroz, C., S. T. López-Espinosa, E. Sánchez-Chávez, M. L. García-Bañuelos, E. De la Cruz-Lázaro, and J. L. Reyes-
366 Carrillo. 2014. Effect of vermicompost tea on yield and nitrate reductase enzyme activity in saladette tomato. *J. Soil Sci.*
367 *Plant Nut.* 14: 223-231.

368 Mena-Violante, H. G., A. Cruz-Hernández, O. Paredes-López, M. Á. Gómez-Lim, y V. Olalde-Portugal. 2009. Cambios
369 relacionados con textura de frutos y mejoramiento de la vida de anaquel por la inoculación de raíces de tomate con *Bacillus*
370 *subtilis* BEB-13BS. *Agrociencia.* 43: 559-567.

371 Mendes, C. B., G. F. Lima, V. N. Alves, M. N. M. Coelho, D. C. Dragunski, and T. C. R. Tarley. 2012. Evaluation of
372 vermicompost as a raw natural adsorbent for adsorption of pesticide methylparathion. *Environ. Technol.* 33: 167-172.
373 doi:10.1080/09593330.2011.554890.

374 Molina-Quijada, D. M. A., L. A. Medina-Juárez, G. A. González-Aguilar, R. M. Robles-Sánchez, y N. Gámez-Meza. 2010.
375 Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de cáscara de uva (*Vitis vinifera* L.) de mesa cultivada en el noroeste de
376 México. *CyTA-J. Food*. 8: 57-63. doi:10.1080/19476330903146021

377 Moreno, R. A., D. N. Rodríguez, C. J. L. Reyes, C. Márquez-Quiroz, y G. J. Reyes. 2014. Comportamiento del chile Húngaro
378 (*Capsicum annuum*) en mezclas de vermicompost-arena bajo condiciones protegidas. *Rev. Fac. Cienc. Agrar. Univ. Nac.*
379 *Cuyo*. 46: 97-111.

380 Morón, R. A., y G. J. A. Alayón. 2014. Productividad del cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con manejo orgánico
381 o convencional en Calakmul, Campeche, México. *Av. Investig. Agropecu*. 18: 35-40.

382 NMX-FF-025-SCFI-2014. Norma Oficial Mexicana NMX-FF-025-SCFI-2014, productos alimenticios no industrializados para
383 consumo humano - chile fresco (*Capsicum* spp) - especificaciones. 2014. [http://www.economia-](http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-ff-025-scfi-2014.pdf)
384 [nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-ff-025-scfi-2014.pdf](http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-ff-025-scfi-2014.pdf) (Consulta: septiembre 02, 2017).

385 Palma-Zavala, D. J., A. Quitero-Ramos, J. Jiménez-Castro, R. Talamás-Abbud, J. Barnard, R. Balandrán-Quintana, and F. Solís-
386 Martínez. 2009. Effect of stepwire blanching and calcium chloride solution on texture and structural properties of jalapeño
387 peppers in brine. *Food Technol. Biotech*. 47: 464-470.

388 Paz, M., P. Gullon, M. F. Barroso, A. P. Carvalho, V. F. Domingues, A. M. Gomes, H. Becker, E. Longhinotti, and C. Delerue-
389 Matos. 2015. Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: evaluation of bioactive compounds. *Food Chem*. 172:
390 462-468. doi:10.1016/j.foodchem.2014.09.102

391 Pérez-López, A. J., F. M. del Amor, A. Serrano-Martínez, M. I. Fortea, and E. Núñez-Delicado. 2007. Influence of agricultural
392 practices on the quality of sweet pepper fruits as affected by the maturity stage. *J. Sci. Food Agric*. 87: 2075-2080.
393 doi:10.1002/jsfa.2966.

394 Pérez, J. J. R., R. A. L. Murillo, M. d. R. R. Bermeo, Á. J. Y. Rosado, F. A. Pacheco, K. A. E. Cunuhay, R. J. L. Bustamante,
395 V. F. V. Morán, D. Z. Burgos, y D. A. C. Bravo. 2017. Uso del humus de lombriz y jacinto de agua sobre el crecimiento y
396 desarrollo del pepino (*Cucumis sativus*, L). *Biocencia*. 19: 30-35.

397 Pradeepkumar, T., B. P. Bonny, R. Midhila, J. John, M. R. Divya, and C. V. Roch. 2017. Effect of organic and inorganic nutrient
398 sources on the yield of selected tropical vegetables. *Sci. Hortic*. 224: 84-92. doi:10.1016/j.scienta.2017.04.022.

399 Preciado-Rangel, P., K. M. García-Villela, M. Fortis-Hernández, R. Trejo Valencia, E. O. Rueda Puente, and J. R. Esparza-
400 Rivera. 2015. Nutraceutical quality of cantaloupe melon fruits produced under fertilization with organic nutrient solutions.
401 *Cienc. Investig. Agrar*. 42: 475-481. doi:10.4067/s0718-16202015000300015.

402 Reyes-Pérez, J. J., R. Luna-Murrillo, B. Murrillo-Amador, A. Nieto-Garibay, L. G. Hernández-Montiel, E. O. Rueda-Puente, y
403 P. Preciado-Rangel. 2017. Uso de vermicompost y compost de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el crecimiento de
404 col morada (*Brassica oleracea*). *Interciencia*. 42: 610-615.

405 Rodríguez, D. N., R. P. Cano, V. U. Figueroa, C. E. Favela, R. A. Moreno, H. C. Márquez, M. E. Ochoa, y R. P. Preciado. 2009.
406 Uso de abonos orgánicos producción tomate invernadero. *Terra Latinoam.* 27: 319-327.

407 Salas-Pérez, L., J. L. García-Hernández, H. C. Márquez, M. Fostis-Hernández, J. R. Estrada-Arellano, J. R. Esparza-Rivera,
408 and P. Preciado-Rangel. 2017. Yield and nutraceutical quality of tomato fruits in organic substrates. *Ecosistemas y Recur.*
409 *Agropecuarios* 4: 169-175.

410 Sánchez, H. D. J., H. M. Fostis, R. J. R. Esparza, O. J. C. Rodríguez, L. E. De la Cruz, C. E. Sánchez, y R. P. Preciado. 2016.
411 Empleo de vermicompost en la producción de frutos de melón y su calidad nutracéutica. *Interciencia.* 41: 213-217.

412 Statistical Analysis System. (2004). User's Guide: Mathematical Programming. Version 9.0. SAS institute Inc. Cary N. C. USA.

413 SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2016. [http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-](http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/)
414 [por-cultivo/](http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/) (Consulta: septiembre 06, 2017).

415 Singh, R., R. R. Sharma, S. Kumar, R. K. Gupta, and R. T. Patil. 2008. Vermicompost substitution influences growth,
416 physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresour.Technol.* 99: 8507-
417 8511. doi:10.1016/j.biortech.2008.03.034.

418 Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solution of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15: 134-
419 154.

420 Vázquez-Vázquez, C., J. L. García-Hernández, E. Salazar-Sosa, J. D. López-Martínez, R. D. Valdez-Cepeda, I. Orona-Castillo,
421 M. Á. Gallegos-Robles, y R. P. Preciado. 2011. Aplicación de estiércol solarizado al suelo y la producción de chile Jalapeño
422 (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17: 69-74.

423 Zhishen, J., T. Mengcheng, and W. Jianming. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging
424 effects on superoxide radicals. *Food Chem.* 64: 555-559.

425 Zuo, Y., J. Zhang, R. Zhao, H. Dai, and Z. Zhang. 2018. Application of vermicompost improves strawberry growth and quality
426 through increased photosynthesis rate, free radical scavenging and soil enzymatic activity. *Sci. Hortic.* 233: 132-140.

CONCLUSIONES GENERALES

La contaminación al ambiente y la disminución en la productividad de los cultivos agrícolas se ha convertido en un problema importante a un ritmo sin precedentes. La dependencia a los fertilizantes y plaguicidas sintéticos los cuales provocan un efecto negativo en la salud humana, además de alteran el equilibrio ecológico en la rizosfera del medio radical de las plantas. Ha causado la búsqueda de sistemas de producción sostenible que reduzcan el suministro de agroquímicos. Ante esta situación, los bioinoculantes a base de RPCV y el sustrato orgánico vermicompost pueden ayudar a mitigar el problema de la pérdida de la fertilidad del medio de crecimiento de las plantas y disminuir el suministro de agroquímicos en los sistemas de producción agrícola de los cultivos de tomate y chile, así fortalecer el enfoque de la agricultura sostenible. Es de vital importancia comprender los aspectos útiles de los bioinoculantes y vermicompost ya que su aplicación representa una alternativa biotecnología moderna para decrecer la existente tensión ambiental.