



Effects of co-inoculation of *Bacillus subtilis* and *Rhizoglyphus intraradices* in tomato production (*Solanum lycopersicum* L.) in a semi-hydroponic system

Efectos de la co-inoculación de *Bacillus subtilis* y *Rhizoglyphus intraradices* en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en un sistema semi-hidropónico

Zulueta-Rodríguez, R.¹, Hernández-Montiel, L. G.², Reyes-Pérez, J. J.³, González-Morales, G. Y.¹, Lara-Capistrán, L.^{1*}

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Campus Xalapa, Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, C.P. 91090, Xalapa, Veracruz, México.

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Calle Instituto Politécnico Nacional No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, C.P. 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Walter Andrade, Km 1.5 vía a Santo Domingo; Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

Cite this paper/Como citar este artículo: Zulueta-Rodríguez, R., Hernández-Montiel, L. G., Reyes-Pérez, J. J., González-Morales, G. Y., Lara-Capistrán, L. (2020). Effects of co-inoculation of *Bacillus subtilis* and *Rhizoglyphus intraradices* in tomato production (*Solanum lycopersicum* L.) in a semi-hydroponic system. *Revista Bio Ciencias* 7, e671. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e671>



ABSTRACT

The use of *rhizobacteria* and arbuscular mycorrhizal fungi is a promising technique to implement in semi-hydroponic systems. In this study, the application of *Bacillus subtilis* (*Bs*) and *Rhizoglyphus intraradices* (*Ri*) were used to assess its effect on the growth, production and quality of two hybrids of tomato ('Caporal' and 'SV8579TE') in a semi-hydroponic growing system. An experimental randomized block design with 25 replications and four treatments (T) for each hybrid was used: T1: (Control, T), T2: (*Bs*), T3: (*Ri*) and T4: (*Bs+Ri*). The parameters evaluated were: seedling height, stem diameter, number of bunches, number of fruits, green index, fruit quality and total production. The data were processed using analysis

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: February 04th 2019.

Accepted/Aceptado: February 5th 2020.

Available on line/Publicado: February 5th 2020.

RESUMEN

El uso de rizobacterias y hongos micorrizógenos es una alternativa viable a implementar en los sistemas semi-hidropónicos. En este trabajo se evaluó la aplicación de *Bacillus subtilis* (*Bs*) y *Rhizoglyphus intraradices* (*Ri*) sobre el crecimiento, producción y calidad de frutos de jitomate híbrido 'Caporal' y 'SV8579TE' en cultivo semi-hidropónico. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con 25 réplicas y cuatro tratamientos (T) para cada híbrido: T1: (Testigo, T), T2: (*Bs*), T3: (*Ri*) y T4: (*Bs+Ri*). Los indicadores evaluados fueron: altura de las plantas, diámetro del tallo, número de racimos y frutos, índice verde, calidad de fruto y producción total. Los datos se procesaron mediante un análisis de varianza y prueba LSD de Fisher con un nivel de significación del 5 %. Los resultados mostraron que la inoculación simple de *Bs* y *Ri* estimuló los indicadores de crecimiento y fructificación en ambos híbridos, pero se encontró una respuesta superior en presencia de la co-inoculación, con incrementos significativos en la producción total. El uso de *B. subtilis* y *R. intraradices* tiende a incrementar la producción de jitomate en un sistema de semi-hidropónico.

*Corresponding Author:

Liliana Lara-Capistrán, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Campus Xalapa, Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, C.P. 91090, Xalapa, Veracruz, México. E-mail: llara_capistran@hotmail.com

of variance and Fisher's Protected LSD test, with a significance level of 5 %. The results showed that simple inoculation of *Bs* and *Ri* stimulated growth and fruiting indicators in both hybrids, but a superior response was found in the presence of co-inoculation, with significant increases in total production. The use of *B. subtilis* and *R. intraradices* can improve the production of tomato in a semi-hydroponic system.

KEY WORDS

Tomato, rhizobacteria, mycorrhiza, production, productivity, quality of fruits.

Introduction

In Mexico, the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) has been a very valued vegetable since pre-Hispanic times (Escofet, 2013; Medina *et al.*, 2017), since it represents a food with beneficial properties for human health due to its content of bio-active compounds like lycopene, ascorbic acid, tocopherol, β -carotene, phenolic acids, flavonoids, folates, fiber, coumarin heterosides, phytoene and phytofluene, vitamin E, fatty acids, carbohydrates, potassium, calcium, magnesium and other micro-elements like zinc, iron and manganese, among others (Ahmed *et al.*, 2011; Perveen *et al.*, 2015). Nowadays, its global production and economic importance has only been compared with the cultivation of potatoes, which highlights its enormous value in the market as well as in international food matters (ASERCA, 1995; Atubi-Yeboah, 2013).

In 2013, even though 52 % of the surface destined to the cultivation of this Solanaceae was concentrated in four countries: China (20.9 %), India (18.8 %), Turkey (6.6 %), and Nigeria (5.8 %) (FIRA, 2016), continuous efforts have been made in various countries in order to enhance its quality and yield with different purposes, even implementing efficient technological developments so that its sowing and harvesting can be brought about in adverse climatic conditions.

Despite the inconveniences that might present when handling this crop, Mexico has continued to be an efficient producer and main provider of tomato in the

PALABRAS CLAVE

Jitomate, rizobacterias, micorriza, producción, productividad, calidad de frutos.

Introducción

En México el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) ha sido una hortaliza muy apreciada desde la época prehispánica (Escofet, 2013; Medina *et al.*, 2017), pues representa un alimento con propiedades beneficiosas para la salud humana por su contenido de compuestos bio-activos como el licopeno, el ácido ascórbico, el tocoferol, el β -caroteno, los ácidos fenólicos, los flavonoides, folatos, fibra, heterósidos cumarínicos (esculósidos), fitoeno y fitoflueno, vitamina E, ácidos grasos, carbohidratos, potasio, calcio, magnesio y otros microelementos como zinc, hierro y manganeso, entre otros (Ahmed *et al.*, 2011; Perveen *et al.*, 2015). En la actualidad, su producción global e importancia económica solo se ha equiparado con el cultivo de la papa, lo cual realiza su enorme valor tanto en el ámbito comercial como en el de índole alimentario internacional (ASERCA, 1995; Atubi-Yeboah, 2013).

Aunque en 2013 el 52 % de la superficie destinada al cultivo de esta Solanaceae se concentró en cuatro naciones: China (20.9 %), India (18.8 %), Turquía (6.6 %) y Nigeria (5.8 %) (FIRA, 2016), en varios países se hacen esfuerzos continuos por elevar su calidad y rendimiento con disímiles fines, incluso implementando desarrollos tecnológicos eficientes para que su siembra y cosecha pueda efectuarse en condiciones climáticas adversas.

A pesar de los inconvenientes que pudieren presentarse en el manejo del cultivo, México se ha mantenido como eficaz productor y principal proveedor de jitomate en el mercado internacional (SAGARPA, 2017) donde el valor de las exportaciones en 2012-2017 aumentó de 15.6 % a 58.1 % equivalentes de 1,001 a 1,583 millones de dólares (SAGARPA/SIAP, 2018).

Por otro lado, la demanda de dicho cultivo coloca a Estados Unidos como el principal mercado de destino de las exportaciones mexicanas con un 90.1 %, lo cual posiciona a nuestro país como el décimo productor mundial de jitomate con una producción de 3'469,707 t•año⁻¹ (SAGARPA/SIAP, 2018).

international market (SAGARPA, 2017) where the value of exportations in 2012-2017 increased from 15.6 % to 58.1 % equivalent to 1,001 to 1,583 million dollars (SAGARPA/SIAP, 2018).

On the other hand, the demand of this crop places the United States as the main destination market of Mexican exportations with 90.1 %, which positions our country as the tenth tomato producer in the world with a production of 3,469,707 t per year⁻¹ (SAGARPA/SIAP, 2018).

70 % of the land surface destined for the cultivation of tomato in Mexico is found under the agricultural protection system (Juarez-Maldonado et al., 2015), which makes this technology more efficient in terms of substantial increases in the yield and quality of the fruits (Marquez-Hernandez et al., 2013) if compared to the production of this vegetable in open field. However, this high productivity implicates an intensive use of agrochemicals (Cih-Dzul et al., 2011; Preciado et al., 2011).

Fortunately, nowadays, there are new alternatives of production that allow to increase the yield and quality of the agro-products under protected agriculture, highlighting the application of bio-molecules (Xu et al., 2009), compost (Cesaro et al., 2015), biological control with natural enemies (Bueno & van Lentren, 2010), microbial antagonists (Shahid et al., 2017), plant growth promoting bacteria (BPCV) (Ahmed et al., 2017), arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) (Babaj et al., 2014; Hart et al., 2015), among others.

Within the most important genera of BPCV, *Bacillus subtilis* stands out due to its capacity to directly or indirectly promote plant growth (Choudhary & Johri, 2009) by means of the phytohormone synthesis (Fahad et al., 2015) and/or the increase in the availability of nutrients in the soil (Barriuso et al., 2008; Xie et al., 2014). Research studies with siderophores have also been realized in the antagonist activity against phytopathogen microorganisms (Sanchez et al., 2014; Fernandez-Herrera et al., 2018), solubilization of phosphates (Sharma et al., 2013), antibiotics, lithic enzymes and nitrogen fixation (Tejera-Hernandez et al., 2011), or else, where the formation of bacterial tridimensional biofilms could have an effect on the choosing of strategies tending to guarantee food safety (Morris & Monier, 2003; Nihorimbere et al., 2010), most importantly when the agrochemical options have failed.

El 70 % de la superficie destinada para el cultivo del jitomate en México se encuentra bajo el sistema de agricultura protegida (Juárez-Maldonado et al., 2015), lo cual hace que esta tecnología sea más eficiente en cuanto a incrementos sustanciales en el rendimiento y la calidad de los frutos (Márquez-Hernández et al., 2013), si se compara con la producción de esta hortaliza a campo abierto. Sin embargo, esta alta productividad implica un uso intensivo de agroquímicos (Cih-Dzul et al., 2011; Preciado et al., 2011).

Por fortuna hoy en día existen novedosas alternativas de producción que permiten incrementar el rendimiento y calidad de los agro-productos bajo la agricultura protegida, destacando la aplicación de bio-moléculas (Xu et al., 2009), compost (Cesaro et al., 2015), control biológico con enemigos naturales (Bueno & van Lentren, 2010), antagonistas microbianos (Shahid et al., 2017), bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) (Ahmed et al., 2017), hongos micorrízico-arbusculares (AMF) (Babaj et al., 2014; Hart et al., 2015), entre otros.

Dentro de los géneros de BPCV más importantes *Bacillus subtilis* destaca debido a su capacidad para promover el crecimiento vegetal de forma directa o indirecta (Choudhary & Johri, 2009) mediante la síntesis de fitohormonas (Fahad et al., 2015) y/o el aumento en la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Barriuso et al., 2008; Xie et al., 2014). También se han realizado estudios con sideróforos en la actividad antagonista contra microorganismos fitopatógenos (Sánchez et al., 2014; Fernández-Herrera et al., 2018), solubilización de fosfatos (Sharma et al., 2013), antibióticos, enzimas líticas y fijación del nitrógeno (Tejera-Hernández et al., 2011), o bien donde la formación de biofilms tridimensionales bacterianos pudiere influir en la elección de estrategias tendientes a garantizar la seguridad alimentaria (Morris & Monier, 2003; Nihorimbere et al., 2010), sobre todo cuando las opciones agroquímicas han fallado.

Algunas investigaciones se han referido a la importancia que la simbiosis AMF-planta ha tenido en los sistemas agroproductivos debido al cúmulo de evidencias que han permitido constatar beneficios en las especies hospedantes (Field et al., 2015) tales como conferir tolerancia a la sequía (Ortiz et al., 2015), salinidad (Kumar et al., 2015a; Dar et al., 2018) y toxicidad a metales pesados (Singh et al., 2011); favorecer la

Some research studies have referred to the importance symbiosis AMF-plant has had on the agro-productive systems due to the accumulation of evidence that has allow to confirm the benefits on the host species (Field *et al.*, 2015) such as conferring tolerance to drought (Ortiz *et al.*, 2015), salinity (Kumar *et al.*, 2015; Dar *et al.*, 2018) and toxicity to heavy metals (Singh *et al.*, 2011); favoring the discrete absorption of nutrients of low mobility in soil (Jain & Chahar, 2016), the bidirectional interaction with herbivores (Zamioudis & Pieterse, 2012), its natural enemies and pollinators (Pineda *et al.*, 2010), inducing systemic resistance (Pieterse *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2018) or decreasing the attack of pathogenic agents from the soil (Vilvert *et al.*, 2017). Therefore, they broaden plants' potentials to survive in adverse environmental conditions (Kim *et al.*, 2017).

The use of beneficial and/or extremophile microorganisms constitutes a vital component of the biotechnology focused on the sustainable production of biomass with agricultural value (Pereg & McMillan, 2015; Moreno, 2016; Glick, 2018) or on applications of scientific interest by diversifying with industrial or commercial vision (Oliart-Ros *et al.*, 2016; Andrade, 2017) where nano-technological or agrobiotechnological aspects are combined (Gouda *et al.*, 2018), since they are part of an ecological and acceptable economic context, not for reducing the demand of agrochemicals but also for securing the quantity, quality and sustainability of the supply of innocuous foods (Guedez *et al.*, 2008; Alvarez-Lopez *et al.*, 2014).

This way, if the agro-technology and biotechnology are combined in a state-of-the-art agro-productive system, greater yields could be achieved, in comparison to the ones already achieved in traditional production systems. Based on the aforementioned, the purpose of this work was to assess the application of *Bacillus subtilis* and *Rhizoglosum intraradices* on growth, production and quality of the hybrid tomato fruits "Caporal" and "SV8579TE" under conditions of a semi-hydroponic cultivation system.

Material and Methods

Research area

The current study was carried out under semi-hydroponics conditions on inorganic substrate in a chapel-like greenhouse, located at 19°33'05.37"N-96°56'40.64"W in the city of Xalapa,

absorción discreta de nutrientes de baja movilidad en el suelo (Jain & Chahar, 2016), la interacción bidireccional con herbívoros (Zamioudis & Pieterse, 2012), sus enemigos naturales y polinizadores (Pineda *et al.*, 2010), inducir resistencia sistémica (Pieterse *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2018) o disminuir el ataque de agentes patógenos del suelo (Vilvert *et al.*, 2017). Por lo tanto, amplían las potencialidades de las plantas para sobrevivir en condiciones ambientales adversas (Kim *et al.*, 2017).

El uso de microorganismos benéficos y/o extremófilos constituye un componente vital de la biotecnología enfocada en la producción sustentable de biomasa con valor agrícola (Pereg & McMillan, 2015; Moreno, 2016; Glick, 2018) o en aplicaciones de interés científico diversificado con visión comercial e industrial (Oliart-Ros *et al.*, 2016; Andrade, 2017) donde combinan aspectos nanotecnológicos o agrobiotecnológicos (Gouda *et al.*, 2018), ya que son parte de un contexto ecológico y económico aceptable no solo para reducir la demanda de agroquímicos sino también para asegurar la cantidad, calidad y sostenibilidad del suministro de alimentos inocuos (Guédez *et al.*, 2008; Álvarez-López *et al.*, 2014).

De esta manera, si la tecnología agrícola y la biotecnología se combinan en un sistema agro-productivo de vanguardia, pueden llegarse a obtener mayores rendimientos, en comparación con los alcanzados en los sistemas tradicionales de producción. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de *Bacillus subtilis* y *Rhizoglosum intraradices* sobre el crecimiento, producción y calidad de frutos de jitomate híbrido 'Caporal' y 'SV8579TE' en condiciones de un sistema de cultivo semi-hidropónico.

Material y Métodos

Área de estudio

El presente estudio se realizó en condiciones de semi-hidroponía sobre sustrato inorgánico en un invernadero tipo capilla ubicado a los 19°33'05.37"N-96°56'40.64"O en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, a 1,428 masl. La temperatura promedio diaria dentro del invernadero osciló entre 25 y 35 °C y la diaria entre 18 y 20 °C durante los meses de agosto de 2017 a enero de 2018.

Veracruz, Mexico, at 1,428 masl (meters above sea level). The average daytime temperature inside the greenhouse ranged between 25 and 35 °C and the average nocturnal temperature ranged between 18 and 20 °C from August 2017 to January 2018.

Cultivation handling

The tomato seeds of the hybrids 'Caporal' and 'SV8579TE' were placed in seed starting trays with the commercial substrate COSMOPEAT® in order to keep the conditions of germination of the seeds under control.

Twenty days after germination (DAG), the tomato seedlings were fertilized with Triple 19 (3 g·L⁻¹) and, in order to prevent and control fungous diseases (specially Damping-off), Previcur-N (3 mL·L⁻¹) and Cupravit (5 g·L⁻¹) were applied, just as producers from the central part of the state of Veracruz do it.

The transplant was realized 28 DAG, placing homogenous seedlings in beds with 5 cm of tezontle gravel (particle from 4 to 8 cm in size) at the bottom to facilitate drainage and 25 cm of red tezontle sand at the top (particles from 1 to 3 mm) as substrate, at a distance of 30 cm between plants and 60 cm between both rows, with 240 experimental units.

The hydric requirements of cultivation were maintained at filed capacity by means of drip irrigation applied using premium tape and automated with timer. The first two weeks, the irrigation was administered 8 times a day for 30 min, the following weeks it was brought down to 20 min and at the end for 10 min until finalizing the experiment.

According to the nutritional requirements of the crops or these production conditions, fertilization was realized with a nutritious solution (Ca[NO₃]₂, NaNO₃, KNO₃, KH₂PO₄, K₂SO₄ and micro-elements, with pH adjusted between 6-7 and CE in 2 S·m²·mol⁻¹) chosen according to the nutritional demand of the crops (Graves, 1983; Steiner, 1984) and yellow insect traps were placed for the control of pests.

Experimental design

A completely randomized experimental design with four treatments (T) was used: T1: (Control, T), T2: (*Bacillus subtilis*, Bs), T3: (*Rhizogloium intraradices*, Ri), T4: (*Bacillus subtilis*+*Rhizogloium intraradices*, co-inoculation Bs+Ri) and 30 repetitions in each one, with a total of 240 plants.

Manejo del cultivo

Las semillas de jitomate de los híbridos 'Caporal' y 'SV8579TE' se colocaron en almácigos de charola con el sustrato comercial COSMOPEAT® para mantener bajo control las condiciones de germinación de las semillas.

A los 20 días después de la germinación (DAG) las plántulas de jitomate se fertilizaron con Triple 19 (3 g·L⁻¹) y, para prevenir y controlar enfermedades fungosas (sobre todo Damping-off), se aplicaron Previcur-N (3 mL·L⁻¹) y Cupravit (5 g·L⁻¹), tal y como lo realizan los productores de la zona central del estado de Veracruz.

El trasplante se realizó a los 28 DAG, colocando plántulas homogéneas en camas con 5 cm de grava de tezontle (partículas de 4 a 8 cm) en el fondo para facilitar el drenaje y encima 25 cm de arena de tezontle rojo (partículas de 1 a 3 mm) como sustrato, a una distancia de 30 cm entre plantas y 60 cm entre ambas hileras, con 240 unidades experimentales.

Los requerimientos hídricos del cultivo se mantuvieron a capacidad de campo mediante riegos por goteo aplicados con cinta premium y automatizados con temporizador (timer). Las primeras dos semanas el riego se administró 8 veces al día por 30 min, los siguientes se redujeron a 20 min y por último se les mantuvo durante 10 min hasta finalizar el experimento.

De acuerdo a los requerimientos nutricionales del cultivo para estas condiciones de producción, la fertilización se realizó con una solución nutritiva (Ca(NO₃)₂, NaNO₃, KNO₃, KH₂PO₄, K₂SO₄ y micro-elementos, con pH ajustado entre 6-7 y CE en 2 S·m²·mol⁻¹) elegida de acuerdo a la demanda nutrimental del cultivo (Graves, 1983; Steiner, 1984) y para el control de plagas se colocaron trampas de color amarillo para la captura de insectos.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos (T): T1: (Testigo, T), T2: (*Bacillus subtilis*, Bs), T3: (*Rhizogloium intraradices*, Ri), T4: (*Bacillus subtilis*+*Rhizogloium intraradices*, co-inoculación Bs+Ri) y 30 repeticiones en cada uno, con un total de 240 plantas.

Inoculación con microorganismos

La inoculación con *Bacillus subtilis* (Bs) se realizó al trasplante, aplicándose 3 mL·planta⁻¹ directamente a la raíz. La cepa fue proporcionada por el Laboratorio de

Inoculation with microorganisms

The inoculation with *Bacillus subtilis* (*Bs*) was realized to the transplant, applying 3 mL•plant⁻¹ directly onto the root. The strain was provided by the Laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), and was cultured in medium TSA (Trypticase soy agar) and kept shaking for three consecutive days at 28 °C. The mycorrhizal inoculum of *Rhizoglyphus intraradices* (3 g•plant⁻¹) applied at the time of transplanting was isolated from the rhizosphere of *Jacaratia mexicana*, a typical and distinctive tree species of dry deciduous forest present in a relic (surviving remnant) of the central portion of the state of Veracruz, Mexico, showing good root-colonizing capacity ($\geq 90\%$; $Ri = 20-25$ spores•g⁻¹).

Evaluated variables

The evaluated variables were: height of the plant (cm), diameter of the stem (mm), number of bunches (inflorescences), number of fruits, green index (chlorophyll), quality of fruits [area (cm), perimeter (cm), polar diameter (cm), equatorial diameter (cm), width (cm) and hardness (kg)]; as well as total production of biomass with agricultural value (kg), colony-forming units (CFU) and percentage of radicular colonization. For the clearing and staining of the roots and quantification of the mycorrhiza colonization, the technique proposed by Phillips & Hayman (1970) was used. The determination of colony-forming units (CFU•g⁻¹) was based on the methodology proposed by Glick *et al.* (1999).

Statistical analysis

The results were processed by means of analysis of variance (ANOVA) of simple classification and for the comparison of measures, the multiple comparison test of LSD measures by Fisher ($p \leq 0.05$) was used. The statistical analyses were carried out with the computer program Statistica v. 10.0 for Windows (StatSoft, Inc., 2011).

Results and Discussion

The ANOVA showed significant differences among the treatments for the height variable of the plants of the 'Caporal' hybrid (LSD by Fisher, $p \leq 0.05$),

Fitopatología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), y se le cultivó en medio TSA (Agar Soya Trypticaseína) mantenido en agitación por tres días consecutivos a 28 °C. El inóculo de *Rhizoglyphus intraradices* que se utilizó al momento del trasplante (3 g•planta⁻¹) se aisló de la rizósfera de *Jacaratia mexicana*, especie arbórea típica y distintiva de selva baja caducifolia presente en un relicto de la porción central del estado de Veracruz, el cual mostraba buena capacidad colonizadora ($\geq 90\%$; $Ri = 20-25$ esporas•g⁻¹).

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: Altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), número de racimos (inflorescencias), número de frutos, índice verde (clorofila), calidad de fruto [área (cm), perímetro (cm), diámetro polar (cm), diámetro ecuatorial (cm), anchura (cm) y dureza (kg)]; así como producción total de biomasa con valor agrícola (kg), unidades formadoras de colonias (CFU) y porcentaje de colonización radicular. Para el clareo y tinción de las raíces y cuantificación de la colonización micorrízica se utilizó la técnica propuesta por Phillips & Hayman (1970). La determinación de unidades formadoras de colonias (CFU•g⁻¹) se basó en la metodología propuesta por Glick *et al.* (1999).

Análisis estadístico

Los resultados se procesaron por análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple, y para la comparación de medias se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias LSD de Fisher ($p \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistica v. 9.1 (StatSoft, Inc., 2010) para Windows.

Resultados y Discusión

El ANOVA mostró diferencias significativas entre los tratamientos para la variable altura de las plantas del híbrido 'Caporal' (LSD de Fisher, $p \leq 0.05$) siendo las plantas inoculadas con *Bs* las que mostraron valores superiores (22.5 %) que campearon al tratamiento testigo o control (Tabla 1), lo cual puede atribuirse a que las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs) representan cerca del 2-5 % del total de rizobacterias involucradas en mejorar el crecimiento y sanidad de numerosas plantas (Jha & Saraf, 2015; Prathap & Ranjitha Kumari, 2015) mediante

being the plants inoculated with *Bs* which showed superior values (22.5 %) surpassing that of the control treatment (Table 1), which can be attributed to the plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) representing about 2-5 % of total rhizobacteria involved in improving the growth and sanity of numerous plants (Jha & Saraf, 2015; Prathap & Ranjitha Kumari, 2015) through direct and indirect mechanisms, or a combination of both (Vacheron et al., 2013; González et al., 2018).

The direct mechanisms occur when these microorganisms synthesize metabolites that favor the availability of nutritious elements required by the vegetal species in order to grow, realizing their vital functions (Gomez-Luna et al., 2012) and increasing the yield (Zahid et al., 2015), and the indirect mechanisms are characterized because rhizobacteria produce antimicrobial substances (or lithic enzymes) that impede the presence or proliferation of microorganisms that affect the normal physiological process of plants, without dismissing their capacity to compete for nutrients or species in a determined ecological niche; or else activating biocontrol mechanisms, inducing systemic resistance and/or producing siderophores, antibiotics and hydrogen cyanides that act upon phytopathogens (Esquivel-Cote et al., 2013).

The co-inoculated treatment obtained significant increases on the 'SV8579TE' hybrid (*Bs+Ri*, 21.9 %), which surpassed the control plants. This in accordance with what was reported by Kumar et al. (2015b) who after evaluating selective plant growth promoting rhizobacteria from the rhizosphere (*Azotobacter chroococcum*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Azospirillum brasilense* and *Streptomyces* sp.) in combination with six strains from AMF (*Acaulospora morrowiae*, *Gigaspora margarita*, *Glomus constrictum*, *Gl. mosseae*, *Gl. aggregatum* and *Scutellospora calospora*) observed an increase of 82 % in height of maize plants (*Zea mays* L.) as a result of the synergy that could have existed to adopt greater mineral nutrition to hosts (Diaz et al., 2013).

Similarly, Falcão et al. (2014) mention that after the inoculation of *B. subtilis* ALB629 in germinating cacao seeds (*Theobroma cacao* L.) a good growth and stem development was achieved, which coincides with the response of tomatoes for the evaluated indicators in this research (Table 1). In both tomato hybrids, it was observed that the best treatment was the one inoculated with the rhizobacteria (*Bs*), with increases of 4 % on the

mecanismos directos e indirectos, o una combinación de ambos (Vacheron et al., 2013; González et al., 2018).

Los primeros ocurren cuando estos microorganismos sintetizan metabolitos que favorecen la disponibilidad de elementos nutritivos requeridos por las especies vegetales para crecer, realizar sus funciones vitales (Gómez-Luna et al., 2012) e incrementar los rendimientos (Zahid et al., 2015), y los segundos se caracterizan porque las rizobacterias producen sustancias antimicrobianas (o enzimas líticas) que impiden la presencia o proliferación de microorganismos que afectan el proceso fisiológico normal de las plantas, sin descartar su capacidad de competir por nutrientes o espacio en un determinado nicho ecológico; o bien activar mecanismos de biocontrol, inducir resistencia sistémica y/o producir sideróforos, antibióticos y cianuros de hidrógeno que actúan sobre los fitopatógenos (Esquivel-Cote et al., 2013).

El tratamiento co-inoculado obtuvo incrementos significativos en el híbrido 'SV8579TE' (*Bs+Ri*, 21.9 %), los cuales superaron a las plantas testigo. Ello concuerda con lo reportado por Kumar et al. (2015b) quienes tras evaluar PGPRs selectivas de la rizosfera (*Azotobacter chroococcum*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Azospirillum brasilense* y *Streptomyces* sp.) en combinación con seis cepas de AMF (*Acaulospora morrowiae*, *Gigaspora margarita*, *Glomus constrictum*, *Gl. mosseae*, *Gl. aggregatum* y *Scutellospora calospora*) observaron un incremento de 82 % en la altura de plantas de maíz (*Zea mays* L.) a consecuencia de la sinergia que pudo existir para aportar mayor nutrición mineral a las hospederas (Díaz et al., 2013).

De igual forma Falcão et al. (2014) mencionan que tras la inoculación de *B. subtilis* ALB629 en plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) se logró buen crecimiento y desarrollo del tallo, lo cual coincide con la respuesta del jitomate para los indicadores evaluados en esta investigación (Tabla 1). En ambos híbridos de jitomate se observó que el mejor tratamiento fue el inoculado con la rizobacteria (*Bs*), con incrementos de 4 % en el híbrido 'Caporal' y 15 % en 'SV8579TE' respecto a las plantas testigo. Tal efecto pudo estar relacionado por la actividad de estos microorganismos, entre las que sobresalen la síntesis de compuestos promotores del crecimiento como el ácido indol-3-acético (3-IAA), auxinas, giberelinas y citoquininas que permiten la captación de nitrógeno y fósforo disponibles en el suelo; mas la presencia de estas

'Caporal' hybrid' and 15 % in 'SV8579TE' in respect to the control plants. This effect may have been related due to the activity of these microorganisms, among the ones that stand out, the synthesis of growth promoting compounds like indole-3-acetic acid (3-IAA), auxins, gibberellins and cytokinins that allow the uptake of hydrogen and phosphorous available in the soil; in addition to the presence of these phytohormones in the rhizosphere that seems to stimulate the physiological progression and development of these plants (Brimecombe *et al.*, 2007; Vega-Celedón *et al.*, 2016).

In the variable of number of bunches, it was observed that the best treatment for the 'Caporal' hybrid was *Bs* (Table 1) in respect to the control plants (LSD by Fisher, $p \leq 0.05$), response that could be attributed to what pointed out by Hernández-Suárez *et al.* (2010) about the effects of micro-encapsulated *B. subtilis* on the growth and production of fruits (yield) of *L. esculentum* cv. 'Floradade'. On the other hand, in the co-inoculated treatment of the 'SV8579TE' hybrid, a superior response was obtained with increases of 16.5 % in respect to the control plants, due to their pre-disposition to favor symbiosis with rhizobacteria and the mycorrhizal fungi.

Regarding the number of fruits, Sánchez *et al.* (2012) reported that when inoculating diverse PGPRs (*Enterobacter* sp., *E. agglomerans*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida* and *Bacillus* sp.) in tomato plants the results showed evidence of significant differences between biological and chemical fertilization, being able to confirm that the application of rhizobacteria with plant growth promoting qualities favored the production of fruits only by 50 % of the recommended dose of fertilization for the cultivation of *S. lycopersicum* under greenhouse, which coincides with the increase of 25 % reported by Mena-Violante & Olalde-Portugal (2007) on the number of fruits from this *Solanaceae* with *B. subtilis* and with what was found in the treatment with *Bs* (>14.8 %) in respect to the control plants for the 'Caporal' hybrid in the present study.

For the 'SV8579TE' hybrid, the best treatment was the co-inoculated *Bs+Ri* with increase of 145 % in respect to the control plants, which agrees with what was reported by Lira-Saldivar *et al.* (2014) who upon evaluating the double co-inoculation *Azospirillum brasilense+Glomus intraradices* (now *R. intraradices*) in tomato (*S. lycopersicum*) registered increases on the height of plants (6 %), the dry biomass (10.5 %) and the yield in comparison to the traditional fertilization under shade-house.

fitohormonas en la rizosfera parece estimular la progresión fisiológica y desarrollo de las plantas (Brimecombe *et al.*, 2007; Vega-Celedón *et al.*, 2016).

En la variable número de racimos se observó que el mejor tratamiento para el híbrido 'Caporal' fue *Bs* (Tabla 1) respecto a las plantas testigo (LSD de Fisher, $p \leq 0.05$), respuesta que se puede atribuir a lo señalado por Hernández-Suárez *et al.* (2010) sobre los efectos de *B. subtilis* micro-encapsulado sobre el crecimiento y producción de frutos (rendimiento) de *L. esculentum* cv. 'Floradade'. En cambio, en el tratamiento co-inoculado del híbrido 'SV8579TE' se obtuvo una respuesta superior con incrementos de 16.5 % respecto a las plantas testigo, debido a su pre-disposición para favorecer la simbiosis con las rizobacterias y el hongo micorrizógeno.

Con respecto al número de frutos, Sánchez *et al.* (2012) reportan que al inocular diversas PGPRs (*Enterobacter* sp., *E. agglomerans*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida* y *Bacillus* sp.) en plantas de jitomate, los resultados evidenciaron diferencias significativas entre la fertilización biológica y la química, pudiéndose constatar que la aplicación de rizobacterias con cualidades promotoras de crecimiento vegetal favoreció la producción de frutos tan solo con el 50 % de la dosis de fertilización recomendada para el cultivo de *S. lycopersicum* en invernadero, lo cual concuerda con el incremento del 25 % reportado por Mena-Violante & Olalde-Portugal (2007) en el número de frutos de esta *Solanaceae* con *B. subtilis* y con lo encontrado en el tratamiento *Bs* (>14.8 %) respecto a las plantas testigo para el híbrido 'Caporal' en el presente estudio.

Para el híbrido 'SV8579TE' el mejor tratamiento fue el co-inoculado *Bs+Ri* con incrementos de 145 % respecto a las plantas testigo, lo cual concuerda con lo reportado por Lira-Saldivar *et al.* (2014) quienes al evaluar la doble co-inoculación *Azospirillum brasilense+Glomus intraradices* (hoy *R. intraradices*) en jitomate (*S. lycopersicum*) registraron incrementos en la altura de las plantas (6 %), la biomasa seca (10.5 %) y el rendimiento en comparación con la fertilización tradicional bajo casa-sombra.

Del mismo modo, se han comprobado efectos derivados de AMF (*Gl. intraradices+Gl. mosseae+Gl. etunicatum*) y rizobacterias (*P. putida*, *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum lipoferum*) sobre factores fitoquímicos que influyen en la calidad de la fruta (Ordookhani *et al.*, 2010).

Table 1.
Average values recorded for the variables plant height, stem diameter, number of clusters, number of fruits and green index in the tomato hybrids 'Caporal' and 'SV8579TE'.

Tabla 1.
Valores promedio registrados para las variables altura de la planta, diámetro del tallo, número de racimos, número de frutos e índice verde en los híbridos de jitomate 'Caporal' y 'SV8579TE'.

Variables	DAT*	'Caporal' hybrid treatments				'SV8579TE' hybrid treatments			
		T	Bs	Ri	Bs+Ri	T	Bs	Ri	Bs+Ri
Seedling	20	19.22 ^b	23.56 ^a	19.28 ^b	14.77 ^c	16.40 ^a	17.70 ^a	16.45 ^a	14.05 ^b
height (cm)	40	36.50 ^b	41.38 ^a	38.80 ^b	33.66 ^c	34.00 ^a	35.39 ^a	34.08 ^a	31.46 ^b
	72	80.80 ^b	90.40 ^a	87.53 ^a	78.6 ^{bb}	91.43 ^c	87.33 ^c	105.40 ^b	111.53 ^a
	20	2.92 ^b	3.33 ^a	3.07 ^b	2.70 ^c	2.32 ^b	2.50 ^b	2.80 ^a	2.33 ^b
Stem diameter (mm)	40	4.40 ^{ab}	4.53 ^a	4.46 ^{ab}	4.19 ^b	4.33 ^b	4.45 ^{ba}	4.62 ^a	3.60 ^c
	72	6.33 ^b	6.84 ^a	6.37 ^b	6.27 ^b	5.79 ^b	6.66 ^a	6.57 ^a	6.57 ^a
	20	2.80 ^{ab}	3.06 ^a	2.86 ^{ab}	2.40 ^b	1.06 ^c	1.46 ^b	1.86 ^a	1.80 ^a
Number of bunches	70	3.40 ^a	3.66 ^a	3.46 ^a	3.40 ^a	2.93 ^{cb}	2.86 ^c	3.26 ^{ab}	3.60 ^a
	84	4.33 ^a	5.00 ^a	4.80 ^a	3.40 ^b	3.60 ^b	4.06 ^{ba}	3.73 ^b	4.60 ^a
	98	3.33 ^a	3.40 ^a	3.40 ^a	2.46 ^b	4.06 ^b	3.80 ^b	4.20 ^{ba}	4.73 ^a
	70	7.60 ^b	12.66 ^a	12.53 ^a	7.13 ^b	3.33 ^c	6.00 ^a	5.86 ^a	4.80 ^b
Number of fruits	84	13.00 ^b	14.93 ^a	13.66 ^{ab}	12.73 ^b	3.60 ^c	6.73 ^{ba}	5.60 ^b	7.66 ^a
	98	13.40 ^a	14.53 ^a	13.60 ^a	13.33 ^a	5.93 ^c	10.20 ^b	7.60 ^c	14.53 ^a
	72	103.65 ^c	106.60 ^b	203.31 ^a	177.90 ^c	77.71 ^d	173.83 ^b	221.10 ^a	112.36 ^c

DAT* = Days after the transplant.

CCI* = Relative chlorophyll content index (0 a 999) in proportion to the transmittance of the incident light. Columns with the same letter are not significantly different according to the least significant difference test ($p \leq 0.05$).

DAT* = Días después del trasplante.

CCI* = Índice de contenido relativo de clorofila (0 a 999) en proporción a la transmitancia de la luz incidente, Letras iguales en la misma columna indican igualdad estadística (LSD de Fisher, $p \leq 0.05$).

Likewise, the effects derived from AMF (*Gl. intraradices*+*Gl. etunicatum*) and rhizobacteria (*P. putida*, *Azotobacter chroococcum* and *Azoprillum lipoferum*) on phytochemical factors that have an influence on the quality of the fruit (Ordookhani et al., 2010).

In the case of the green index variable, a superior response was obtained when inoculating *R. intraradices* in both hybrids (Table 1) with increases of 96 % in the 'Caporal' hybrid and 184.5 % in the 'SV8579TE' hybrid in respect to the control plants, which once

En cuanto a la variable índice verde, se obtuvo una respuesta superior al inocular *R. intraradices* en ambos híbridos (Tabla 1) con incrementos de 96 % en el híbrido 'Caporal' y de 184.5 % en el híbrido 'SV8579TE' respecto a las plantas testigo, lo cual de nuevo puede atribuirse al mejor aprovechamiento de los nutrientes de baja movilidad en el suelo promovido por la colonización radicular e interacción micorrizógena (*Ri*+planta hospedera [*S. lycopersicum*]) (Tallapragada et al., 2016).

Esto concuerda con lo reportado en el híbrido de tomate 'El Cid' (*Lycopersicon esculentum*; tipo Saladette) por

again can be attributed to a better exploitation of low-mobility nutrients in the soil, promoted by the radicular colonization and mycorrhizal interaction (*Ri*+host plant [*S. lycopersicum*]) (Tallapragada *et al.*, 2016).

This agrees with what was reported on the tomato hybrid 'El Cid' (*Lycopersicon esculentum*; Saladette type) by Alvarado *et al.*, 2014) who indicated that *Rhizophagus intraradices*¹ significantly increased the height of the plant, the content of chlorophyll and the radicular mycorrhizal colonization, making an emphasis on the greater chlorophyll index (12 % $p \leq 0.01$) in comparison to the non-inoculated plants.

For the polar diameter variable of the fruit, the treatments that showed a favorable response on the 'SV8579TE' hybrid were *Bs* and *Ri* with increase of 43.8 % and 29.8 % in respect to the control plants (LSD by Fisher, $p \leq 0.05$) (Table 2). The ANOVA (LSD by Fisher, $p \leq 0.05$) expressed that the best treatment on the perimeter of the fruit was with *Bs* when exhibiting an increase of 16.8 % in respect to the plants of the control treatment.

On the equatorial diameter of the fruit, no significant differences were found in the treatments (Table 2), whereas in the polar diameter the treatment that expressed the most desirable results was *R. intraradices*, with increases of 12 % in respect to the control plants. A superior response regarding the width of the fruit was obtained in the inoculated treatments with *R. intraradices* (14.9 %) and *B. subtilis* (19.9 %), while regarding its hardness the interactive factor of *Bs+Ri* surpassed the control plants by (13.9 %) (Table 2).

In a general sense, what was obtained was that for both hybrids with the inoculation of *R. intraradices* a superior response was achieved in the 'Caporal' and 'SV8579TE' hybrids which agrees with what was reported by Díaz *et al.* (2013) who after inoculating pepper plants ('Valeria' hybrid) with *R. intraradices* boosted up the size and weight of the fruit. Thus, the quality of the fruit improved by the mycorrhizal treatment could be closely related with the greater mineral nutrition of the plants associated with these symbionts, just like Hart *et al.* (2015) reported after inoculating *L. esculentum* cv. 'Moneymaker' with *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae* or both.

For the total production of biomass with agricultural value, in both cases the best treatment was the co-inoculated with increases of 8.8 % for the 'Caporal' hybrid and 104 % for the 'SV8579TE' hybrid in respect to the control plants,

Alvarado *et al.* (2014) quienes indican que *Rhizophagus intraradices*¹ incrementó significativamente la altura de la planta, el contenido de clorofila y la colonización micorrizica radicular, puntualizando el mayor índice de clorofila (12 %, $p \leq 0.01$) en comparación con las plantas no inoculadas.

Para la variable diámetro polar del fruto, los tratamientos que mostraron respuesta favorable en el híbrido 'SV8579TE' fueron *Bs* y *Ri* con incrementos de 43.8 % y 29.8 % respecto a las plantas testigo (LSD de Fisher, $p \leq 0.05$) (Tabla 2). El ANOVA (LSD de Fisher, $p \leq 0.05$) expresó que el mejor tratamiento en el perímetro del fruto fue con *Bs* al exhibir incremento de 16.8 % respecto a las plantas del tratamiento control.

En el diámetro ecuatorial del fruto no se encontraron diferencias significativas en los tratamientos (Tabla 2), mientras que en el diámetro polar el tratamiento que expresó resultados más deseables fue *R. intraradices*, con incrementos de 12 % respecto a las plantas testigo. En anchura del fruto se obtuvo una respuesta superior en los tratamientos inoculados con *R. intraradices* (14.9 %) y *B. subtilis* (19.9 %), mientras que en su dureza el factor interactivo de *Bs+Ri* superó a las plantas testigo en 13.9 % (Tabla 2).

En sentido general se obtuvo que para ambos híbridos con la inoculación de *R. intraradices* se logró una respuesta superior en los híbridos 'Caporal' y 'SV8579TE' lo que coincide con el reporte de Díaz *et al.* (2013) quienes tras inocular plantas de chile pimienta (híbrido 'Valeria') con *R. intraradices* fomentaron el tamaño y peso del fruto. Así, la calidad del fruto promovida por este tratamiento micorrizado puede estar estrechamente relacionada con la mayor nutrición mineral de la planta asociada con estos simbioses, tal y como Hart *et al.* (2015) reportan tras la inoculación de *L. esculentum* cv. 'Moneymaker' con *Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae* o ambos.

Para la producción total de biomasa con valor agrícola, en ambos casos el mejor tratamiento fue el co-inoculado con incrementos de 8.8 % para el híbrido 'Caporal' y de 104 % para el híbrido 'SV8579TE' respecto a las plantas testigo, aspectos que de nuevo

¹The authors suggest revising Sieverding *et al.* (2014).

¹Los autores sugieren revisar Sieverding *et al.* (2014).

Table 2.
Effect of microorganisms on fruits of 'Caporal' and 'SV8579TE' hybrid tomatoes at 107 DAT.

Tabla 2.
Efecto de los microorganismos en frutos de jitomate híbrido 'Caporal' y 'SV8579TE' a los 107 DAT.

VARIABLES	'Caporal' hybrid				'SV8579TE' hybrid			
	T	Bs	Ri	Bs+Ri	T	Bs	Ri	Bs+Ri
Fruit area (cm)	24.65 ^b	25.39 ^b	31.64 ^a	24.11 ^b	28.87 ^b	41.52 ^a	37.48 ^a	21.78 ^c
Fruit perimeter (cm)	20.28 ^{bc}	21.28 ^{ab}	22.47 ^a	19.54 ^c	21.29 ^b	24.88 ^a	24.25 ^b	19.04 ^c
Fruit ecuatorial diameter (cm)	0.73 ^{cb}	0.78 ^{ab}	0.80 ^a	0.70 ^c	0.79 ^a	0.84 ^a	0.80 ^a	0.75 ^a
Fruit polar diameter (cm)	7.33 ^a	7.34 ^a	7.53 ^a	6.94 ^a	6.82 ^{ab}	8.13 ^{ab}	7.64 ^a	6.54 ^b
Fruit width (cm)	5.03 ^b	5.26 ^{ab}	5.64 ^a	5.01 ^b	5.41 ^b	6.49 ^a	6.22 ^a	4.77 ^c
Fruit hardness (kg)	1.56 ^a	1.40 ^a	1.40 ^a	1.24 ^a	1.58 ^{ab}	1.29 ^b	1.59 ^{ab}	1.80 ^a
Total production (kg)	102.00 ^d	105.00 ^c	108.00 ^b	111.00 ^a	102.00 ^d	108.00 ^b	105.00 ^c	111.00 ^a

Columns with the same letter are not significantly different according to the least significant difference test ($p \leq 0.05$).

Letras iguales en la misma columna indican igualdad estadística (LSD de Fisher, $p \leq 0.05$).

aspects that once more could be related with the capacity of *B. subtilis*+*R. intraradices*) for synergistically interacting and achieving a greater availability and assimilation of nutrients (Arthurson *et al.*, 2011; Kavatagi & Lakshman, 2014), which translate to even a lot greater yields, in comparison to what was registered in simple inoculations.

For the colony-forming units (CFU) variable, the treatment *Bs+Ri* reached the highest values in both hybrids ('Caporal' with 0.00048 CFU·g⁻¹ and 'SV8579TE' with 0.00022 CFU·g⁻¹) because when co-inoculating a plant growth promoting rhizobacteria and a mycorrhizal fungus, a greater number of colonies was recorded, in comparison to when the bacterium "acts by itself", which agrees with what was reported by Manoharachary *et al.* (2016) where they point out that the mycorrhizal colonization acts as a chemical-attractant of rhizospheric bacteria and, after a synergic relation occurs between both microorganisms, the nutritional and hormonal balance of its hosts is favored, intensifying its growth and development (Nadeem *et al.*, 2014; Egamberdieva *et al.*, 2015; 2016).

pueden relacionarse con la capacidad de *B. subtilis*+*R. intraradices*) para interactuar sinérgicamente y lograr una mayor disponibilidad y asimilación de nutrientes (Arthurson *et al.*, 2011; Kavatagi & Lakshman, 2014), los cuales se traducen en rendimientos mucho mayores, en comparación con lo registrado en las inoculaciones simples.

Para la variable unidades formadoras de colonias (CFU), el tratamiento *Bs+Ri* alcanzó los valores más altos en ambos híbridos ('Caporal' con 0.00048 CFU·g⁻¹ y 'SV8579TE' con 0.00022 CFU·g⁻¹) pues al co-inocular una PGPR y un hongo micorrizógeno se contabilizó un mayor número de colonias, en comparación de cuando la bacteria "actúa" sola, lo que concuerda con Manoharachary *et al.* (2016) donde señala que la colonización micorrízica actúa como un químico-atrayente de bacterias rizosféricas y, tras ocurrir una relación sinérgica entre ambos microorganismos, se favorece el equilibrio nutricional y hormonal de sus hospederos, intensificándose su crecimiento y desarrollo (Nadeem *et al.*, 2014; Egamberdieva *et al.*, 2015; 2016).

In regards to the percentage of mycorrhizal colonization the best treatment in the 'Caporal' treatment was *Bs+Ri* (87 %), in comparison with what was observed in the 'SV8579TE' hybrid where no significant differences presented between the treatments (LSD by Fisher, $p \leq 0.05$). This coincides with the work realized by Cano (2011) in cucumber (*Cucumis sativus* L.) and Saia *et al.* (2015) in wheat (*Triticum durum* Desf.) where the percentages of mycorrhizal colonization in treatments with simple inoculation (AMF; PGPR) or co-inoculated (AMF+PGPR) increased the synergic relations that optimized the absorption of water and nutrients and had an influence on the growth and development of the host plants.

Finally, the results obtained in this work coincide with Bona *et al.* (2015; 2016) since the inoculation of both microorganisms (*Bs+Ri*) not only did it contribute to the vegetative development and formation of quality fruits in both tomato hybrids ('Caporal' and 'SV8579TE'), but it also had an influence on the quantity of biomass with agricultural value harvested in comparison to the rest of the evaluated treatments.

Conclusion

The dual or combined inoculation with *Bacillus subtilis* and *Rhizoglyphus intraradices* constitute a biotechnological alternative for the production of tomatoes under conditions of a semi-hydroponic production system.

References

- Ahmed, L., Martin-Diana, A. B., Rico, D. and Barry-Ryan, C. (2011). The antioxidant properties of whey permeate treated fresh-cut tomatoes. *Food Chemistry*, 124: 1451-1457. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.106>
- Ahmed, B., Zaidi, A., Khan, M. S., Rizvi, A., Saif, S. and Shahid, M. (2017). Perspectives of plant growth promoting rhizobacteria in growth enhancement and sustainable production of tomato. In: *Microbial Strategies for Vegetable Production*. Zaidi, A. and Khan, M. S., eds. 125-149 pp. Cham, Switzerland. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54401-4_6
- Alvarado C., M., Díaz F., A. and Peña del Río, M. Á. (2014). Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5: 513-518. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263130497014>
- Álvarez-López, C., Osorio-Vega, W., Díez-Gómez, M. C. and Marín-Montoya, M. (2014). Caracterización bioquímica de microorganismos rizosféricos de plantas de vainilla con potencial como biofertilizantes. *Agronomía Mesoamericana*, 25: 225-241. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43731480002>
- Andrade T., L. H. (2017). Cultivo y utilización de microorganismos fotosintéticos psicrófilos obtenidos de Laguna de La Caldera en Parque Nacional de Sierra Nevada para su potencial utilización en biotecnología. Tesis doctoral. Universidad de Granada. 318 p. <https://hera.ugr.es/tesisugr/26529580.pdf>

En cuanto al porcentaje de colonización micorrizica el mejor tratamiento en el híbrido 'Caporal' fue *Bs+Ri* (87 %), en contraste con lo observado en el híbrido 'SV8579TE' donde no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (LSD de Fisher, $p \leq 0.05$). Esto coincide con los trabajos realizados por Cano (2011) en pepino (*Cucumis sativus* L.) y Saia *et al.* (2015) en trigo (*Triticum durum* Desf.) donde los porcentajes de colonización micorrizica en tratamientos con inoculación simple (AMF; PGPR) o co-inoculados (AMF+PGPR) incrementaron las relaciones sinérgicas que optimizaron la absorción de agua y nutrientes e influyeron sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas hospederas.

Finalmente, los resultados obtenidos en este trabajo coinciden con Bona *et al.* (2015; 2016) pues la inoculación de ambos microorganismos (*Bs+Ri*) no solo contribuyó al desarrollo vegetativo y formación de frutos de calidad en ambos híbridos de jitomate ('Caporal' y 'SV8579TE'), sino que también influyó sobre la cantidad de biomasa con valor agrícola cosechada en comparación con el resto de los tratamientos evaluados.

Conclusión

La inoculación dual o combinada con *Bacillus subtilis* y *Rhizoglyphus intraradices* constituyen una alternativa biotecnológica para la producción de jitomate en condiciones de un sistema de producción semi-hidropónico.

- Arthurson, V., Hjort, K., Muleta, D., Jaderlund, L. and Granhall, U. (2011). Effects on *Glomus mosseae* root colonization by *Paenibacillus polymyxa* and *Paenibacillus brasilensis* strains as related to soil P-availability in winter wheat. *Applied and Environmental Soil Science*, 2011: 1-9. <https://doi.org/10.1155/2011/298097>
- ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria) (1995). El jitomate mexicano: Complemento del mercado estadounidense. *Claridades Agropecuarias* 25: 3-15. <https://info.aserca.gob.mx/claridades/revistas/025/ca025.pdf#page=3>
- Atuobi-Yeboah, A. A. (2013). Effect of irradiation on the shelf life and nutritional quality of tomato (*Solanum lycopersicon* L.) powder. BSc. Agriculture. University of Ghana. 192 p. <http://ugspace.ug.edu.gh/handle/123456789/23654>
- Babaj, I., Sallaku, G. and Balliu, A. (2014). The effects of endogenous mycorrhiza (*Glomus* spp.) on plant growth and yield of grafted cucumber (*Cucumis sativum* L.) under common commercial greenhouse conditions. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 13: 24-28. <https://www.researchgate.net/publication/263617254>
- Barriuso, J., Ramos S., R., Lucas, J. A., Probanza L., A., García-Villaraco, A. and Gutiérrez M., F. J. (2008). Ecology, genetic diversity and screening strategies of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). In: Plant-Bacteria Interactions: Strategies and Techniques to Promote Plant Growth. Ahmad, I., Pichtel, J. and Hayat, S., eds. 1-17 pp. Weinheim, Germany. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527621989.ch1>
- Bona, E., Lingua, G., Manassero, P., Cantamessa, S., Marsano, F., Todeschini, V., Copetta, A., D'Agostino, G., Massa, N., Avidano, L., Gamalero, E. and Berta, G. (2015). AM fungi and PGP pseudomonads increase flowering, fruit production, and vitamin content in strawberry grown at low nitrogen and phosphorus levels. *Mycorrhiza*, 25: 181-193. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0599-y>
- Bona, E., Lingua, G. and Todeschini, V. (2016). Effect of bioinoculants on the quality of crops. In: Bioformulations: For Sustainable Agriculture. Arora, N. K., Mehnaz, S. and Balestrini, R., eds. 93-124 pp. New Delhi, India. Springer India. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2779-3>
- Brimecombe, M. J., De Leij, F. A. A. M. and Lynch, J. M. (2007). Rhizodeposition and microbial populations. In: The Rhizosphere; Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface. 2nd ed. Pinton, R., Varanini, Z. and Nannipieri, P., eds. 73-109 pp. Boca Raton, USA. CRC Press.
- Bueno, V. H. P. & van Lentren, J. C. (2010). Biological control of pests in protected cultivation: Implementation in Latin America and successes in Europe. En: Memorias del XXXVII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología. 261-269 pp; Bogotá, D.C. <https://www.researchgate.net/publication/254841758> Last check: January 27th 2019.
- Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 14: 15-31. <http://www.scielo.org.co/pdf/ruca/v14n2/v14n2a03.pdf>
- Cesaro, A., Belgiorno, V. and Guida, M. (2015). Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. *Resources, Conservation and Recycling*, 94: 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.11.003>
- Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E. and Reinhardt, D. (2018). Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi—from ecology to application. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1270. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01270>
- Choudhary D. K. & Johri, B. N. (2009). Interactions of *Bacillus* spp. and plants with special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microbiological Research*, 164: 493-513. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2008.08.007>
- Cih-Dzul, I. R., Jaramillo-Villanueva, J. L., Tornero-Campante, M. A. and Schwentesius-Rindermann, R. (2011). Caracterización de los sistemas de producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el estado de Jalisco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 501-512. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200012
- Dar, Z. M., Masood, A., Asif, M. and Malik, M. A. (2018). Review on arbuscular mycorrhizal fungi: An approach to overcome drought adversities in plants. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7: 1040-1049. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.124>
- Díaz F., A., Alvarado C., M., Ortiz C., F. and Grageda C., O. (2013). Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4: 315-321. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000200011&script=sci_arttext

- Egamberdieva, D. R., Jabborova, D. and Berg, G. (2015). Synergistic interactions between *Bradyrhizobium japonicum* and the endophyte *Stenotrophomonas rhizophila* and their effects on growth, nodulation and nutrition of soybean under salt stress. *Plant and Soil*, 405: 35-45. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2661-8>
- Egamberdieva, D., Li, L., Lindström, K. and Räsänen, L. A. (2016). A synergistic interaction between salt tolerant *Pseudomonas* and *Mesorhizobium* strains improves growth and symbiotic performance of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fish.) under salt stress. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100: 2829-2841. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-7147-3>
- Escofet T., R. (2013). Importancia de la gastronomía prehispánica en el México actual. *Culinaria*, 6: 23-36.
- Esquivel-Cote, R., Gavilanes-Ruiz, M., Cruz-Ortega, R. and Huante, P. (2013). Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36: 251-258. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n3/v36n3a10.pdf>
- Falcão, L. L., Silva-Werneck, J. O., Vilarinho, B. R., da Silva, J. P., Pomella, A. W. V. and Marcellino, L. H. (2014). Antimicrobial and plant growth-promoting properties of the cacao endophyte *Bacillus subtilis* ALB629. *Journal of Applied Microbiology*, 116: 1584-1592. <https://doi.org/10.1111/jam.12485>
- Fahad, S., Hussain, S., Bano, A., Saud, S., Hassan, S., Shan, D., Khan, F. A., Khan, F., Chen, Y., Wu, C., Tabassum, M. A., Chun, M. X., Afzal, M., Jan, A., Jan, M. T. and Huang, J. (2015). Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 4907-4921. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3754-2>
- Field, K. J., Rimington, W. R., Bidartondo, M. I., Allinson, K. E., Beerling, D. J., Cameron, D. D., Duckett, J. G., Leake, J. R. and Pressel, S. (2015). First evidence of mutualism between ancient plant lineages (Haplomitriopsida liverworts) and Mucoromycotina fungi and its response to simulated Palaeozoic changes in atmospheric CO₂. *New Phytologist*, 205: 743-756. <https://doi.org/10.1111/nph.13024>
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura) (2016). Panorama agroalimentario; Tomate rojo 2016. FIRA, México. 35 p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf
- Fernández-Herrera, E., Martínez-Rentería, M. E., Moreno-Salazar, S. F., Jiménez-Peña, N. y Ramírez-Bustos, I. I. (2018). Bacterias de la rizosfera de garbanzo con capacidad antagonica a hongos fitopatogenos y de promoción del crecimiento de la planta. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21: 557-568. <https://pdfs.semanticscholar.org/7d58/12bd07111dc9c5c8d3ac03a5080b0b2dd3fc.pdf>
- Glick, B. R. (2018). Soil microbes and sustainable agriculture. *Pedosphere*, 28: 167-169. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60020-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60020-7)
- Glick, B. R., Patten, C. L., Holguin, G. and Penrose, D. M. (1999). Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria. London, UK. Imperial College Press. 276 p. <https://doi.org/10.1142/p130>
- Gómez-Luna, B. E., Hernández-Morales, A., Herrera-Méndez, C. H., Arroyo-Figueroa, G., Vargas-Rodríguez, L. and Olalde-Portugal, V. (2012). Aislamiento de bacterias promotoras del crecimiento de la rizósfera de plantas de guayaba (*Psidium guajava*). *Ra Ximhai*, 8: 97-102. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46125176008>
- González R., G., Espinosa P., B., Cano R., P., Moreno R., A., Leos E., L., Sánchez G., H. and Sáens M., J. (2018). Influencia de rizobacterias en la producción y calidad nutracéutica de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9: 367-379. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v9n2/2007-0934-remexca-9-02-367.pdf>
- Gouda, S. Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.-S. and Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbial Research*, 206: 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
- Graves, C. J. 1983. The nutrient film technique. In: Horticultural Reviews, volume 5. Janick, J. ed. 1-44 pp. New Jersey, USA. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118060728.ch1>
- Guédez, C., Castillo, C., Cañizales, L. and Olivar, R. (2008). Control biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. *ACADEMIA*, 7: 50-74. <https://www.researchgate.net/publication/242534403>
- Hart, M., Ehret, D. L., Krumbein, A., Leung, C., Murch, S., Turi, C. and Franken, P. (2015). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves the nutritional value of tomatoes. *Mycorrhiza*, 25: 359-376. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0617-0>
- Hernández-Suárez, M., Hernández-Castillo, F. D., Lira-Saldivar, R. H. and Gallegos-Morales, G. (2010). Biocontrol de

- Rhizoctonia solani* y *Fusarium* sp. con microencapsulados de *Bacillus subtilis* y su efecto en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agraria (Nueva Época)*, 7: 17-25. [http://www.uaaan.mx/agraria/attachments/category/46/Agraria_2010\(7\)1-3.pdf](http://www.uaaan.mx/agraria/attachments/category/46/Agraria_2010(7)1-3.pdf)
- Jain, S. B. & Chahar, S. (2016). Effect of AM fungi *Funneliformis mosseae* on the growth of *Ocimum sanctum*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5: 64-67. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2016.504.010>
- Jha, C. K. & Saraf, M. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. *Journal of Agricultural Research and Development*, 5: 0108-0119. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5171.2164>
- Juárez-Maldonado, A., de Alba R., K., Zermeño G., A., Ramírez, H. and Benavides M., A. (2015). Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6: 943-954. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500003
- Kavatagi, P. K. and Lakshman, H. C. (2014). Interaction between AMF and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on two varieties of *Solanum lycopersicum* L. *World Applied Sciences Journal*, 32: 2054-2062. <http://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.32.10.14164>
- Kim, S. J., Eo, J.-K., Lee, E.-H., Park, H. and Eom, A.-H. (2017). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and soil conditions on crop plant growth. *Mycobiology*, 45: 20-24. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.1.20>
- Kumar, A., Dames, J. F., Gupta, A., Sharma, S., Gilbert, J. A. and Ahmad, P. (2015a). Current developments in arbuscular mycorrhizal fungi research and its role in salinity stress alleviation: A biotechnological perspective. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35: 461-474. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.899964>
- Kumar, M., Kaur, A., Pachouri, U. C. and Singh, J. (2015b). Growth promoting characteristics of rhizobacteria and AM fungi for biomass amelioration of *Zea mays*. *Archives of Biological Sciences*, 67: 877-887. <https://doi.org/10.2298/ABS141029047K>
- Lira-Saldivar, R. H., Valdez, L. A., Cárdenas, A., Ibarra, L., Hernández, M. and Ruiz, N. (2014). *Azospirillum brasilense* and *Glomus intraradices* co-inoculation stimulates growth and yield of cherry tomato under shadehouse conditions. *Phyton*, 83: 133-138. <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/phyton/article/view/8694/7733>
- Manoharachary, C., Tilak, K. V. B. R., Mallaiah, K. V. and Kunwar, I. K. (2016). *Mycology and Microbiology*. Jodhpur, India. Scientific Publishers (India). 607 p.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Avila-Diaz, J. A., Rodríguez-Dimas, N. and García-Hernández, J. L. (2013). Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. *Phyton*, 82: 55-61. <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v82n1/v82n1a08.pdf>
- Medina S. T., Arroyo F. G. and Dzul C. J. G. (2017). Origin and evolution of tomato production *Lycopersicon esculentum* in México. *Ciência Rural*, 47: e20160526. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782017000300401&script=sci_arttext
- Mena-Violante, H.G. & 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: 103-106. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.01.031>
- Moreno S., N. (2016). La agricultura sostenible un reto para la microbiología del suelo. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18: 5-6. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57828>
- Morris, C. E. & Monier, J.-M. (2003). The ecological significance of biofilm formation by plant-associated bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, 41: 429-453.
- Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A. and Ashraf, M. (2014). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32: 429-448. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
- Nihorimbere, V., Ongena, M., Cawoy, H., Brostaux, Y., Kakana, P., Jourdan, E. and Thonart, P. (2010). Beneficial effects of *Bacillus subtilis* on field-grown tomato in Burundi: Reduction of local *Fusarium* disease and growth promotion. *African Journal of Microbiology Research*, 4: 1135-1142. https://www.researchgate.net/profile/Helene_Cawoy/publication/208603658_Beneficial_effects_of_Bacillus_subtilis_on_field-grown_tomato_in_Burundi_Reduction_of_local_Fusarium_disease_and_growth_promotion/links/00b4952cc0c1733e63000000/Beneficial-effects-of-Bacillus-subtilis-on-field-grown-tomato-in-Burundi-Reduction-of-local-Fusarium-disease-and-growth-promotion.pdf
- Oliart-Ros, R. M., Manresa-Presas, Á. and Sánchez-Otero, M. G. (2016). Utilización de microorganismos de ambientes extremos y sus productos en el desarrollo biotecnológico. *Ciencia UAT*, 11: 79-90. <http://www.scielo.org.mx/pdf/>

- [cuat/v11n1/2007-7858-cuat-11-01-00079.pdf](#)
- Ordoookhani, K., Khavazi, K., Moezzi, A. and Rejali, F. (2010). Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. *African Journal of Agricultural Research*, 5; 1108-1116. <https://www.researchgate.net/publication/228641924>
- Ortiz, N., Armada, E., Duque, E., Roldán, A. and Azcón, R. (2015). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal of Plant Physiology*, 174: 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.jpplph.2014.08.019>
- Pereg, L. & McMillan, M. (2015). Scoping the potential uses of beneficial microorganisms for increasing productivity in cotton cropping systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 80: 349-358. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.10.020>
- Perveen, R., Suleria, H. A. R., Anjum, F. M., Butt, M. S., Pasha, I. and Ahmad, S. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; metabolism, absorption, nutrition, and allied health claims-A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55: 919-929. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.657809>
- Phillips, J. M. & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of The British Mycological Society*, 55: 158-161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Pieterse, C. M. J., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., van Wees, S. C. M., and Bakker, P. A. H. M. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Review of Phytopathology*, 52: 347–375. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102340>
- Pineda, A., Zheng, S.-J., van Loon, J. J. A., Pieterse, C. M. J. and Dicke, M. (2010). Helping plants to deal with insects: The role of beneficial soil-borne microbes. *Trends in Plant Science*, 15: 507-514. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.05.007>
- Prathap, M. & Ranjitha Kumari, B. D. (2015). A critical review on plant growth promoting rhizobacteria. *Plant Pathology & Microbiology*, 6: 266. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000266>
- Preciado R., P., Fortis H., M., García-Hernández, J. L., Rueda P., E., Esparza R., J. R., Lara H., A., Segura C., M. Á. and Orozco V., J. (2011). Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36: 689-693. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/689-c-PRECIADO-5.pdf>
- Saia, S., Rappa, V., Ruisi, P., Abenavoli, M. R., Sunseri, F., Giambalvo, D., Frenda, A. S. and Martinelli, F. (2015). Soil inoculation with symbiotic microorganisms promotes plant growth and nutrient transporter genes expression in durum wheat. *Frontiers in Plant Science*, 6: 815. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00815>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030; Jitomate mexicano. SAGARPA, México. 15 p. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) / SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2018). Atlas agroalimentario 2012-2018. SIAP, México. 215 p. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018 [Last checked: January 21st 2019].
- Sánchez L., D. B., Gómez-Vargas, R. M., Garrido R., M. F. and Bonilla B., R. R. (2012). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3: 1401-1415. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342012000700009&script=sci_arttext
- Sánchez L., D. B., García H., A. M., Romero P., F. A. and Bonilla B., R. R. (2014). Efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal solubilizadoras de fosfato en *Lactuca sativa* cultivar White Boston. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16: 122-128. <https://www.redalyc.org/pdf/776/77632757015.pdf>
- Shahid, M., Zaidi, A., Khan, M. S., Rizvi, A., Saif, S. and Ahmed, B. (2017). Recent advances in management strategies of vegetable diseases. In: *Microbial Strategies for Vegetable Production*. Zaidi, A. and Khan, M. S. eds. 197-226 pp. Cham, Switzerland. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54401-4_9
- Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H. and Gobi, T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, 2: 587. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>
- Sieverding, E., Silva, G.A., Berndt, R. and Oehl, F. (2014). Rhizoglomus, a new genus of the Glomeraceae. *Mycotaxon*, 129:

- 373-386 <https://doi.org/10.5248/129.373>
- Singh, L. P., Gill, S. S. and Tuteja, N. (2011). Unraveling the role of fungal symbionts in plant abiotic stress tolerance. *Plant Signaling & Behavior*, 6: 175-191. <https://doi.org/10.4161/psb.6.2.14146>
- StatSoft Inc. 2010. STATISTICA version 9.1 for Windows. Stat Soft Inc, Tulsa, OK, USA <http://www.statsoft.com>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In: Proceedings on the 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC., ed. 633-650 pp. Wageningen, The Netherlands.
- Tallapragada, P., Dikshit, R. and Seshagiri, S. (2016). Influence of *Rhizophagus* spp. and *Burkholderia seminalis* on the growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) and bell pepper (*Capsicum annuum*) under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47: 1975-1984. <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1216561>
- Tejera-Hernández, B., Rojas-Badía, M. M. and Heydrich-Pérez, M. (2011). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 42: 131-138. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181222321004>
- Vacheron, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M.-L., Touraine, B., Moëgne-Loccoz, Y., Muller, D., Legendre, L., Wisniewski-Dyé, F. and Prigent-Combaret, C. (2013). Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Frontiers in Plant Science*, 4: 356. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00356>
- Vega-Celedón, P., Canchignia M., H., González, M. y Seeger, M. (2016). Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. *Cultivos Tropicales*, 37: 33-39. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000500005
- Vilvert, E., Costa, M. D., Cangahuala-Inocente, G. C. and Lovato, P. E. (2017). Root proteomic analysis of grapevine rootstocks inoculated with *Rhizophagus irregularis* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *herbementis*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41: e0160134. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20160134>
- Xie, S. S., Wu, H.-J., Zang, H.-Y., Wu, L.-M., Zhu, Q.-Q. and Gao, X.-W. (2014). Plant growth promotion by spermidine-producing *Bacillus subtilis* OKB105. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 27: 655-663. <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-14-0010-R>
- Xu, M., Dong, J., Wang, H. and Huang, L. (2009). Complementary action of jasmonic acid on salicylic acid in mediating fungal elicitor-induced flavonol glycoside accumulation of *Ginkgo biloba* cells. *Plant, Cell & Environment*, 32: 960-967. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01976.x>
- Zahid, M., Abbasi, M. K., Hameed, S. and Rahim, N. (2015). Isolation and identification of indigenous plant growth promoting rhizobacteria from Himalayan region of Kashmir and their effect on improving growth and nutrient contents of maize (*Zea mays* L.). *Frontiers in Microbiology*, 6: 207. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00207>
- Zamioudis, C. and Pieterse, C. M. J. (2012). Modulation of host immunity by beneficial microbes. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 25: 139-150. <https://doi.org/10.1094/MPMI-06-11-0179>