

# Respuesta agronómica del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación de *Bacillus subtilis* y lombricomposta en invernadero

## Agronomic response of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) to application of *Bacillus subtilis* and vermicompost in greenhouse

Liliana Lara-Capistrán<sup>1</sup> , Ramón Zulueta-Rodríguez<sup>1</sup> , Bernardo Murillo-Amador<sup>2</sup> ,  
Mirella Romero-Bastidas<sup>3</sup> , Tomas Rivas-García<sup>2</sup>  y Luis Guillermo Hernández-Montiel<sup>2,†</sup> 

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrícolas-Xalapa, Universidad Veracruzana. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán, Colonia Zona Universitaria. 91090 Xalapa, Veracruz, México.

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

<sup>†</sup> Autor para correspondencia / <sup>‡</sup> Corresponding author (lhernandez@cibnor.mx)

<sup>3</sup> Departamento Académico de Agronomía, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur km 5.5., Col. El Mezquitito. 23080 La Paz, Baja California Sur, México.

### RESUMEN

El uso de agroquímicos en el cultivo de chile dulce ha originado la búsqueda de alternativas de fertilización como *Bacillus subtilis* y lombricomposta, los cuales, son una opción para producir alimentos sin afectar al ambiente, salud humana y animal. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la incorporación individual y en conjunto de *B. subtilis* y lombricomposta sobre la respuesta agronómica de chile dulce bajo invernadero. Se utilizó un diseño completamente al azar con 15 repeticiones por cada tratamiento donde; T1 = plantas con fertilizante químico; T2 = *B. subtilis*; T3 = *B. subtilis* + fertilizante químico; T4, T5 y T6 = 280, 380 y 570 g de lombricomposta, respectivamente; T7, T8 y T9 = *B. subtilis* + 280, 380 y 570 g de lombricomposta, respectivamente. A los 90 días después de la siembra se evaluó: altura, diámetro del tallo, número de hojas, número de botones, número de flores, área foliar, producción de fruto y población bacteriana (UFC). Las plantas de chile dulce con la dosis más alta de lombricomposta (570 g) más *B. subtilis* presentaron los mayores incrementos en todas las variables evaluadas superando significativamente a las plantas con fertilizante químico. La aplicación en conjunto de lombricomposta y *B. subtilis* puede ser una alternativa para la producción de chile dulce sin tener que emplear fertilizantes químicos.

### SUMMARY

The use of agrochemicals in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation has led to the search for fertilization alternatives, such as *Bacillus subtilis* and vermicompost, which are options to produce food without affecting the environment and human and animal health. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of incorporating *Bacillus subtilis* and vermicompost, individually or mixed, on the agronomic response of *C. annuum* L.) under greenhouse conditions. A completely randomized design with 15 replicates was used for each treatment where T1 = chemical fertilizer; T2 = *B. subtilis*; T3 = *B. subtilis* + chemical fertilizer; T4, T5, T6 = 280, 380, 570 g of vermicompost, respectively; T7, T8, T9 = *B. subtilis* + 280, 380, 570 g of vermicompost, respectively. At 90 days after sowing (DAS), the following variables were evaluated: height, stem diameter, number of leaves, buds, and flowers, leaf area, fruit production, and bacterial population (colony forming units, CFU). The sweet pepper plants with the highest dose of vermicompost (570 g) plus *B. subtilis* showed the greatest increase in all the variables evaluated, exceeding the plants with the chemical fertilizer only. The mixed application of *B. subtilis* + vermicompost can be an alternative for the production of *C. annuum* L. without having to use chemical fertilizers.

#### Cita recomendada / Recommended citation:

Lara-Capistrán, L., R. Zulueta-Rodríguez, B. Murillo-Amador, M. Romero-Bastidas, T. Rivas-García y L. G. Hernández-Montiel. 2020. Respuesta agronómica del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación de *Bacillus subtilis* y lombricomposta en invernadero. Terra Latinoamericana Número Especial 38-3: 693-704.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.737>

Recibido / Received: octubre / October 09, 2019.

Aceptado / Accepted: enero / January 06, 2020.

Publicado en / Published in Terra Latinoamericana 38: 693-704.

**Palabras clave:** agricultura protegida, área foliar, biofertilización, producción.

**Index words:** protected agriculture, leaf area, biofertilization, production.

## INTRODUCCIÓN

Aunque la domesticación del chile (*Capsicum annuum* L.) ocurrió en el noreste o centro-este de México, el número de haplotipos encontrados en la Península de Yucatán sugiere que su manejo y diversificación ocurrió en dicha región de la Mesoamérica prehispánica (Pérez-Castañeda *et al.*, 2015; Casas *et al.*, 2019). Las especies de chile con más demanda comercial por su color, aroma, tamaño, sabor o pungencia son: *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. pubescens* y *C. annuum*. Sin embargo, esta última es la más valiosa a nivel mundial, y por ello se le siembra en regiones templadas, tropicales y subtropicales de Europa, Asia, África y América (Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2018).

El fruto de chile, es uno de los productos hortofrutícolas que se aprecia en la gastronomía y agroindustria de diversas naciones, aunque EUA y Canadá son los principales mercados donde al menos en 2016 se consumieron 992 mil y 3 mil toneladas (Mg), respectivamente (SAGARPA-SIAP, 2017). En México, su consumo va más allá de ser solo un condimento y alimento nutritivo, pues culturalmente se ha convertido en un símbolo de identidad nacional e internacional (Aguirre y Muñoz, 2015). El primer productor mundial de chile es China con 16 120 406 Mg cosechadas en poco más de 711 mil ha y México ocupa el segundo lugar con 2 732 635 Mg logradas en el 7.4% del total de la superficie dedicada al cultivo de esta solanácea (SAGARPA-SIAP, 2017).

Aunque el chile se cultiva bajo diferentes sistemas de siembra, tanto en temporal como en riego, o bajo fertirrigación, de forma directa y de trasplante, a cielo abierto y bajo agricultura protegida, los rendimientos por unidad de superficie sembrada no son los deseables, pero se puede incrementar su productividad mediante el uso e implementación de tecnologías de vanguardia (Nkansah *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2018).

Según Jaramillo *et al.* (2007), los invernaderos se incluyen dentro de las técnicas de cultivo protegido e intensivo que propician condiciones artificiales favorables o microclimáticas óptimas (en cuanto a la radiación, precipitación, temperatura y humedad incidentes) con el fin de asegurar una producción y

## INTRODUCTION

Despite the domestication of sweet pepper, which occurred in northeast and central-east Mexico, the number of haplotypes found in the Yucatan Peninsula suggest that its management and diversification occurred in such region of the Pre-Hispanic Mesoamerica (from central Mexico to Central America) (Pérez-Castañeda *et al.*, 2015; Casas *et al.*, 2019). The sweet pepper species with greater commercial demand because of their color, aroma, size, flavor, or pungency are *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. pubescens*, and *C. annuum*. However, this last one is the most valuable at world level and thus sown in temperate, tropical and subtropical regions of Europe, Asia, Africa, and America (Aguirre-Mancilla *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2018).

The fruit of *C. annuum* L., also known as bell pepper, is one of the horticultural products that are appreciated in several countries, of which the United States of America and Canada are the main markets where consumption was at least 992 thousand and 3 thousand tons (Mg), respectively (SAGARPA-SIAP, 2017). In Mexico, its consumption goes beyond being only a condiment and nutritional food since it has culturally turned out to be a symbol of national and international identity (Aguirre and Muñoz, 2015). The first world producer of *C. annuum* is China with 16 120 406 Mg harvested in a little more than 711 thousand ha and Mexico occupies second place with 2 732 635 Mg achieved on 7.4% of the total surface dedicated to the cultivation of this species of the Solanaceae family (SAGARPA-SIAP, 2017).

Despite the bell pepper is cultivated under different sowing systems, both temporal and irrigation, or fertirrigation, transplanting or direct seeding, open sky and protected agriculture, its yield per unit of sown surface is not the desired one, and its productivity may be increased by using state-of-the art technology (Nkansah *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2018).

According to Jaramillo *et al.* (2007), greenhouse cultivation is included within the protected techniques that promote favorable and optimal artificial or microclimate conditions (as incidental radiation, precipitation, temperature, and humidity) with

calidad deseable en las cosechas. En cuanto al uso de fertilizantes químicos y sus altos costos económicos y ecológicos se refiere, son aspectos que sin duda han provocado la búsqueda de alternativas y nuevas estrategias de manejo que reduzcan el uso y aplicación de insumos contaminantes para las plantas, ser humano, agua, suelo y ambiente (Yuan *et al.*, 2017; Verma *et al.*, 2020). Ante la fertilización de las plantas con productos químicos, el uso de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) y la aplicación de abonos orgánicos como la lombricomposta, se convierten en una opción para desarrollar sistemas agro-productivos donde la aplicación de fertilizantes químicos se reduzca y se fomente una producción sostenible (Brar *et al.*, 2019; Parastesh *et al.*, 2019).

*Bacillus subtilis* es una bacteria considerada dentro de las BPCV, debido a su capacidad de solubilización de fósforo (Prakash y Arora, 2019), producción de sideróforos (Rizzi *et al.*, 2019), control biológico de fitopatógenos (a través del parasitismo, antagonismo, antibiosis y competencia) (He *et al.*, 2019; Cucu *et al.*, 2020) y producción de fitohormonas (auxinas, giberelinas, ácido abscísico y etileno) (Kudoyarova *et al.*, 2019) que promueven el crecimiento de las plantas. Esta bacteria puede proporcionar un aumento en la productividad agrícola, una disminución en los costos del cultivo y no presenta contaminación al medio ambiente, siendo una alternativa segura y sostenible a los nocivos efectos de los fertilizantes químicos utilizados de manera tradicional para la producción de los cultivos (Bhat *et al.*, 2019).

La lombricomposta, es el proceso por el cual los desechos orgánicos se descomponen a través de las acciones sinérgicas de las lombrices de tierra y las comunidades microbianas (Ali *et al.*, 2015), además contiene nutrientes que son de importancia en el crecimiento y productividad de las plantas (Roychowdhury *et al.*, 2017) y mejora las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo (Aksakal *et al.*, 2016).

La aplicación de BPCV y lombricomposta pueden ser una alternativa al uso de fertilizantes químicos, promoviendo el crecimiento y la productividad de los cultivos de manera sustentable. Por lo anterior, se evaluó el efecto de la incorporación individual y en conjunto de *B. subtilis* y lombricomposta sobre la respuesta agronómica de chile dulce bajo condiciones de invernadero.

the purpose of guaranteeing a desirable quality and production at harvest. With respect to the use of chemical fertilizers and their high economic and ecological costs, they are undoubtedly aspects that have caused the search for alternatives and new management strategies, which may reduce the application and use of contaminant supplies for plants, humans, water, soil, and the environment (Yuan *et al.*, 2017; Verma *et al.*, 2020). Faced with the use of chemical fertilization products on plants, growth promoting bacteria (PGPB) and the application of organic manure, such as vermicompost, have turned out to be options for the development of productive farming systems that promote reducing the use of chemical fertilizer and favoring sustainable production (Brar *et al.*, 2019; Parastesh *et al.*, 2019).

*Bacillus subtilis* is a bacterium considered within the PGPB because of its capacity to solubilize phosphorus (Prakash and Arora, 2019), produce siderophores (Rizzi *et al.*, 2019), exert biological phytopathogen control (through parasitism, antagonism, antibiosis, and competence) (He *et al.*, 2019; Cucu *et al.*, 2020), and produce phytohormones (auxins, gibberellins, abscisic acid and ethylene) (Kudoyarova *et al.*, 2019) that promote plant growth. This bacterium may provide an increase in agriculture productivity, decrease cultivation costs, and it does not cause contamination to the environment, which makes it a safe and sustainable alternative for cultivation production (Bhat *et al.*, 2019).

Vermicompost is the process by which organic waste decomposes through the synergic action of earthworms and microbial communities (Ali *et al.*, 2015); it also contains important nutrients for plant growth and productivity (Roychowdhury *et al.*, 2017) and improves physical, biological and chemical properties in soil (Aksakal *et al.*, 2016).

The application of PGPB and vermicompost may be an alternative to the use of chemical fertilizers, promoting cultivation growth and productivity sustainably. Therefore, this study evaluated the effect of incorporating *B. subtilis* and vermicompost, individually and jointly, on the agronomic response of *C. annuum* under greenhouse conditions.

## MATERIALS AND METHODS

This study was performed in a greenhouse located in the city of Xalapa, Veracruz, México, at 19° 33' N and 96° 56' W, at 1428 m a.s.l.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en un invernadero ubicado en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, localizado en 19° 33' N y 96° 56' O, a 1428 m de altitud.

### Sustrato

Se utilizó una mezcla de suelo, arena y tepecil en proporción 2:1:1 (vol/vol) y se desinfectó con Bunema® (metam sodio 45%) a una dosis de 100 mL m<sup>-2</sup> (Terralia, 2018<sup>1</sup>). Posteriormente con el sustrato se llenaron bolsas negras de 5 kilogramos.

### Concentración Bacteriana

La bacteria *B. subtilis* fue proporcionada por el Laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y se le cultivó en medio TSB (Caldo Soya Trypticaseína) al 3% a 28 °C por 48 h y 180 rpm. Posteriormente, la concentración de la bacteria fue ajustada a 1×10<sup>9</sup> UFC mL<sup>-1</sup> usando un espectrofotómetro UV/Vis a 660 nm y absorbancia de 1. La inoculación con *B. subtilis* se realizó al trasplante, aplicando 3 mL sobre la raíz de cada planta.

### Lombricomposta

Se utilizó una lombricomposta comercial (TerraNova Lombricultores, Xalapa, Ver. MX) producida a partir de pulpa de café, la cual, presentaba las siguientes características; materia orgánica 84%, pH 7.4, fósforo orgánico 0.108%, fósforo total 0.25%, nitrógeno total 3.99%, potasio total 2.14%, calcio total, 1.72%, magnesio total 0.8%, relación C/N 12.21, ácidos fúlvicos 10.5% y ácidos húmicos 15.1%. Se utilizaron las dosis de 280, 380 y 570 g de lombricomposta por planta recomendadas por López *et al.* (2012). La lombricomposta fue esterilizada con Bunema® (metam sodio 45%) a una dosis de 100 mL m<sup>-2</sup>.

### Fertilización Química

A los tratamientos fertilizados se les aplicaron por planta; 12 g de fosfato diamónico (18-46-00) y de

### Substrate

A mixture of soil, sand, and pumice in a ratio of 2:1:1 (vol/vol) was made and disinfected with Bunema® (metam sodium 45%) at a dose of 100 mL m<sup>-2</sup> (Terralia, 2018<sup>1</sup>); subsequently, 5 kg black bags were filled with the substrate.

### Bacterial Concentration

The bacterium *B. subtilis* was provided by the Phytopathology Laboratory at Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste and cultured in trypticase soy broth (TSB) at 3% and 28 °C at 180 rpm for 48 h. After that, the bacterial concentration was adjusted to a 1×10<sup>9</sup> CFU mL<sup>-1</sup> using an ultraviolet visible (UV/Vis) spectrophotometer at 660 nm and absorbance of 1. The inoculation with *B. subtilis* was performed at transplanting by applying 3 mL on each plant root.

### Vermicompost

A commercial vermicompost (TerraNova Lombricultores, Xalapa, Ver. MX), produced from coffee pulp, had the following characteristics: organic matter 84%, pH 7.4, organic phosphorus 0.108%, total phosphorus 0.25%, total nitrogen 3.99%, total potassium 2.14%, total calcium 1.72%, total magnesium 0.8%, C/N relationship 12.21, fulvic acids 10.5%, and humic acids 15.1%. The doses of 280, 380, and 570 g of vermicompost per plant was following the recommendation of López *et al.* (2012). The vermicompost was sterilized with Bunema® (metam sodium 45%) at a dose of 100 mL m<sup>-2</sup>.

### Chemical Fertilization

The following were applied per plant to the fertilized treatments: 12 g of diammonium phosphate (18-46-00) and 12-12-17 + 2 of MgO each 10 days after transplant (DAT) and the following leaf fertilizers: 7.2 g L<sup>-1</sup> of Nitrosol® every eight days (from day 20 to 40 DAT), 5 g L<sup>-1</sup> of Syntek® and Ca-Bo every eight days (from day 40 to 90 DAT) (Agroscience, 2017).

<sup>1</sup> Terralia. 2018. Bunema 55 GE-Metam Sodio 45%. [https://www.terralia.com/agroquimicos\\_de\\_mexico/view\\_trademark?trademark\\_id=8341](https://www.terralia.com/agroquimicos_de_mexico/view_trademark?trademark_id=8341).

12-12-17 + 2 MgO cada 10 días después del trasplante (ddt) y los siguientes fertilizantes foliares; 7.2 g L<sup>-1</sup> de Nitrosol® cada 8 días (de los 20 hasta los 40 ddt), 5 g L<sup>-1</sup> de Syntek® y Ca-Bo cada 8 días (de los 40 hasta los 90 ddt) (Agroscience, 2017).

### Descripción de los Tratamientos

Al momento del trasplante, cada planta fue inoculada con *B. subtilis*, fertilizada químicamente o con lombricomposta. Se utilizó un diseño completamente al azar con 15 repeticiones por cada tratamiento donde T1 = plantas con fertilizante químico; T2 = *B. subtilis*; T3 = *B. subtilis* + fertilizante químico; T4, T5, T6 = 280, 380, 570 g, respectivamente; T7, T8, T9 = *B. subtilis* + 280, 380, 570 g de lombricomposta, respectivamente. Las plantas fueron colocadas dentro de un invernadero por 90 días.

### Variables Evaluadas

Al final del experimento, las variables evaluadas fueron; altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), número de hojas, número de botones, número de flores, área foliar (cm<sup>2</sup>), producción (g) y unidades formadoras de colonias (UFC) mediante el método propuesto por Glick *et al.* (1999).

### Análisis Estadístico

Se utilizó un método completamente al azar y los datos fueron procesados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y se empleó la prueba LSD de Fisher con un nivel de significación del 5% ( $\alpha = 0.05$ ) del software STATISTICA (versión 8.0.360.0 StatSoft Inc., Tulsa, EUA) para Windows.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros Morfológicos

Las plantas de chile dulce que fueron inoculadas con la bacteria y diferentes dosis de lombricomposta presentaron un incremento significativo en altura, diámetro del tallo, número de hojas, número de botones, número de flores y área foliar en relación a las plantas con fertilizante químico (Cuadro 1). Las plantas inoculadas con *B. subtilis* más la dosis alta del abono orgánico alcanzaron incrementos del 86% en

### Treatment Description

At the moment of transplanting, each plant was inoculated with *B. subtilis*, chemically fertilized or with vermicompost. A completely randomized design was used with 15 replicates per treatment, where T1 = chemical fertilizer; T2 = *B. subtilis*, T3 = *B. subtilis* + chemical fertilizer; T1 = chemical fertilizer; T2 = *B. subtilis*; T3 = *B. subtilis* + chemical fertilizer; T4, T5, T6 = 280, 380, 570 g of vermicompost, respectively; T7, T8, T9 = *B. subtilis* + 280, 380, 570 g of vermicompost, respectively. The plants were placed inside a greenhouse for 90 days.

### Variables Evaluated

At the end of the experiment the variables evaluated were plant height (cm), stem diameter (mm), leaf, buds, and flower number, leaf area (cm<sup>2</sup>), production (g), and colony forming units (CFU) by the method proposed by Glick *et al.* (1999).

### Statistical Analysis

A completely randomized method was used, and data were processed by one-way analysis of variance (ANOVA), and Fisher's LSD test was used with a level of significance of 5% ( $P > 0.05$ ) with the software STATISTICA (version 8.0.360.0 StatSoft Inc., Tulsa, USA) for Windows.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Morphologic Parameters

The bell pepper plants that were inoculated with the bacterium and different vermicompost doses showed a significant increase in height, stem diameter, leaf, bud, and flower number, and leaf area when compared with those treated with chemical fertilizer (Table 1). The inoculated plants with *B. subtilis* plus the high dosage of organic fertilizer reached an increase of 86% in height, 197% in stem diameter, 500% in leaf number, 200% in bud number, 187% in flower number and 462% in leaf area when compared with those of the chemical fertilizer treatment. The rest of the plant treatments with the bacterium or organic manure showed the highest values in all the morphological variables with respect to the fertilized plants.

altura, 197% en diámetro de tallo, 500% en número de hojas, 200% en número de botones, 187% en número de flores y 462% en área foliar, en comparación con el tratamiento de las plantas con fertilizante químico. El resto de los tratamientos de las plantas con la bacteria o abono orgánico presentaron los valores más altos en todas las variables morfológicas en relación a las plantas fertilizadas.

El incremento en los parámetros morfológicos del chile dulce con *B. subtilis* y lombricomposta se podría deber principalmente a dos factores; el primero de ellos al contenido del abono orgánico en macro y micronutrientes (Maji *et al.*, 2017) y reguladores del crecimiento (como auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido fúlvico y húmico) (Goswami *et al.*, 2017; Ravindran *et al.*, 2019) que son utilizados por las plantas como fuente de energía o en sus procesos de división y elongación celular, entre otros (Hanc *et al.*, 2019). Además, con la aplicación de lombricomposta se mejora el enraizamiento de las plantas, la estructura del suelo, aireación, retención de agua y promueve la actividad microbiana (Zhao *et al.*, 2017; Gupta *et al.*,

The increase in morphological parameters of bell pepper with *B. subtilis* and vermicompost may be due mainly to two factors. The first one would be the content of the organic manure in macro and micronutrients (Maji *et al.*, 2017) and growth promoters, such as auxins, gibberellins, cytokins, fulvic and humic acids (Goswami *et al.*, 2017; Ravindran *et al.*, 2019), which are used by the plants as energy sources or in their cell division and elongation processes, among others (Hanc *et al.*, 2019). Furthermore, the application of vermicompost improves plant rooting, aeration, water retention, and promotes microbial activity (Zhao *et al.*, 2017; Gupta *et al.*, 2019), mainly that of the PGPB (Viti *et al.*, 2010; Espinosa-Palomeque *et al.*, 2017).

The second factor is the capacity of *B. subtilis* to produce organic acids of low molecular weight that allow releasing soluble soil phosphorus; this macroelement is used by the plants for photosynthesis, energy, and carbon source degradation that allows them to reach greater plant growth (Wang *et al.*, 2019). *B. subtilis* also produces indole-3-acetic acid (IAA), which is a plant hormone that participates in cell

**Cuadro 1. Parámetros morfológicos de plantas de chile dulce inoculadas con *B. subtilis* y dosis de lombricomposta.**

**Table 1. Morphological parameters of sweet chili plants inoculated with *B. subtilis* and vermicompost dose.**

Tratamiento / Treatment	Descripción / Description	Altura / Height	Diámetro de tallo / Stem diameter	Número de hojas / Number of leaves	Número de botones / Number of buds	Número de flores / Number of flowers	Área foliar / Leaf area
		cm	mm				cm <sup>2</sup>
1	Fertilizante químico / Chemical fertilizer	16.03 a <sup>†</sup>	4.1 a	15 a	19 a	16 a	127.24 a
2	<i>B. subtilis</i>	17.73 b	5.3 b	18 b	22 b	18 b	154.07 b
3	<i>B. subtilis</i> + fertilizante químico / <i>B. subtilis</i> + chemical fertilizer	19.49 c	6.6 c	22 c	23 b	18 b	255.67 c
4	286 g de lombricomposta / 286 g vermicompost	21.24 d	7.5 d	45 d	30 c	20 c	327.57 d
5	381 g de lombricomposta / 381 g vermicompost	23.54 e	7.6 d	51 e	35 d	23 d	386.14 e
6	571 g de lombricomposta / 571 g vermicompost	24.88 f	8.1 e	61 f	39 e	24 d	557.24 f
7	<i>B. subtilis</i> + 280 g de lombricomposta / <i>B. subtilis</i> + 280 g vermicompost	26.39 g	9.2 f	77 g	44 f	32 e	630.41 g
8	<i>B. subtilis</i> + 380 g de lombricomposta / <i>B. subtilis</i> + 380 g vermicompost	28.19 h	10.3 g	78 g	49 g	33 e	696.91 h
9	<i>B. subtilis</i> + 570 g de lombricomposta / <i>B. subtilis</i> + 570 g vermicompost	29.97 i	12.2 h	90 h	57 h	46 f	715.13 i

<sup>†</sup> Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas (LSD de Fisher,  $P < 0.05$ ).

<sup>†</sup> Different letter in the same column indicate significant differences (Fisher's LSD test,  $P < 0.05$ ).

2019), principalmente de las BPCV (Viti *et al.*, 2010; Espinosa-Palomeque *et al.*, 2017).

El segundo factor es la capacidad de *B. subtilis* para producir ácidos orgánicos de bajo peso molecular que permiten la liberación del fósforo soluble del suelo, este macro-elemento es utilizado por las plantas para su fotosíntesis, energía y síntesis y degradación de fuentes de carbono que les permite alcanzar un mayor crecimiento vegetal (Wang *et al.*, 2019). *B. subtilis* también produce ácido indol-3-acético (AIA), la cual, es una hormona vegetal que participa en la elongación y división celular, diferenciación de tejidos y las respuestas a la luz y la gravedad (Wagi y Ahmed, 2019). Además, la protección de las plantas hacia fitopatógenos por la bacteria influye de manera positiva sobre el crecimiento vegetal (Ndeddy y Babalola, 2016; Rizzi *et al.*, 2019). Finalmente, las bacterias del género *Bacillus* tienen una alta capacidad de adhesión y colonización de las raíces de las plantas, lo que produce un mayor efecto sobre su crecimiento (Allard-Massicotte *et al.*, 2016).

La aplicación de lombricomposta o *B. subtilis* ha incrementado diversos parámetros morfológicos de cultivos como arroz (Sharma y Garg, 2018), tomate (Durukan *et al.*, 2019), cebada (Jamily *et al.*, 2019), lechuga (Lee *et al.*, 2020), entre otros. En el caso particular del chile, la aplicación de lombricomposta o *B. subtilis* ha promovido el crecimiento de diversos germoplasmas de esta solanácea (Álvarez-Solis *et al.*, 2016; Haghghi y Barzegar, 2018; Huang *et al.*, 2020), sin embargo, este es el primer reporte del efecto de diversas dosis de lombricomposta más *B. subtilis* en el cultivo de chile dulce.

### Producción de Chile y UFC de *B. Subtilis*

La producción de frutos de chile se incrementó en un 364% en las plantas inoculadas con *B. subtilis* y la dosis más alta de lombricomposta en comparación con las plantas fertilizadas químicamente (Figura 1). Se observó un incremento en la producción de chile conforme las plantas inoculadas con la bacteria fueron fertilizadas de forma creciente con la lombricomposta. Los nutrimentos minerales contenidos en los abonos orgánicos como la lombricomposta, y el aporte de sustancias reguladoras del crecimiento y la solubilización de fósforo por parte de las BPCV como *B. subtilis* desempeñan un papel importante en la productividad de las plantas (Choudhary *et al.*, 2019).

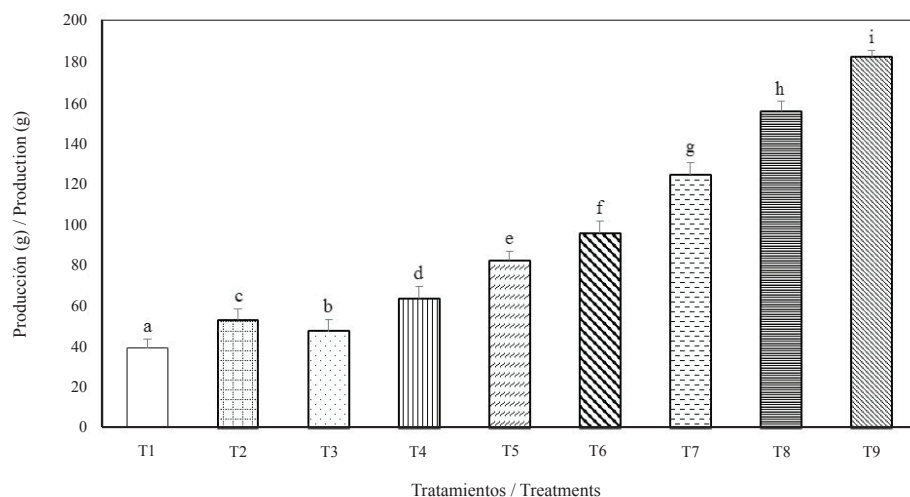
division and elongation, tissue differentiation, and light and gravity responses (Wagi and Ahmed, 2019). In addition, the plant protection towards phytopathogens by the bacterium influences plant growth positively (Ndeddy and Babalola, 2016; Rizzi *et al.*, 2019). Finally, the bacteria of the genus *Bacillus* have a high capacity of plant root adhesion and colonization, which produces a greater effect on their growth (Allard-Massicotte *et al.*, 2016).

The application of vermicompost or *B. subtilis* has increased several morphological cultivation parameters, such as rice (Sharma and Garg, 2018), tomato (Durukan *et al.*, 2019), barley (Jamily *et al.*, 2019), lettuce (Lee *et al.*, 2020), among others. In the particular case of bell pepper, the application of vermicompost or *B. subtilis* has promoted growth of several germplasm of this solanaceae (Álvarez-Solis *et al.*, 2016; Haghghi and Barzegar, 2018; Huang *et al.*, 2020). Nonetheless, to our knowledge, this is the first report of the effect of different dosage of vermicompost plus *B. subtilis* on *C. annuum* cultivation.

### Bell Pepper Production and Colony Forming Units of *Bacillus subtilis*

Bell pepper production increased 364% in the plants inoculated with *B. subtilis* and the highest dosage of vermicompost compared with those chemically fertilized (Figure 1). An increase was observed in chili production as the plants inoculated with the bacterium were fertilized with higher vermicompost dosage. The mineral nutrient content in the organic manure, such as vermicompost and the supply of growth promoting substances and phosphorus solubilization by the PGPB, such as *B. subtilis* have an important role in plant productivity (Choudhary *et al.*, 2019).

The increase in the vermicompost doses applied to the plants allowed the populations of *B. subtilis* to increase in sweet pepper roots (Figure 2), accounting for a greater number of the bacterium CFU with the highest dosage of vermicompost. To this respect, Singh *et al.* (2012), Ammaan *et al.* (2019) and Maheshwari *et al.* (2019) mentioned that organic manure are important in increasing beneficial bacterial populations, which are a relevant factor in plant productivity. With respect to the plants chemically fertilized and inoculated with *B. subtilis*, the decrease of bacterial population might have been due to the negative effect of the fertilizer based on nitrogen and phosphorus, which decreased



**Figura 1. Producción (g) de frutos de chile dulce en plantas inoculadas con *B. subtilis* y dosis de lombricomposta. T1 = plantas con fertilizante químico, T2 = *B. subtilis*, T3 = *B. subtilis* + fertilizante químico, T4 = 280 g de lombricomposta, T5 = 380 g de lombricomposta T6 = 570 g de lombricomposta, T7 = *B. subtilis* + 280 g de lombricomposta, T8 = *B. subtilis* + 380 g de lombricomposta y T9 = *B. subtilis* + 570 g de lombricomposta. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (LSD de Fisher,  $P < 0.05$ ).**

**Figure 1. Production (g) of sweet pepper fruit in plants inoculated with *B. subtilis* and vermicompost dose. Where: T1 = plants with chemical fertilizer, T2 = *B. subtilis*, T3 = *B. subtilis* + chemical fertilizer, T4 = 280 g of vermicompost, T5 = 380 g of vermicompost, T6 = 570 g of vermicompost, T7 = *B. subtilis* + 280 g of vermicompost, T8 = *B. subtilis* + 380 g of vermicompost and T9 = *B. subtilis* + 570 g of vermicompost. Columns with the same letter are statistically equal (Fisher's LSD,  $P < 0.05$ ).**

El aumento en las dosis de lombricomposta aplicadas en las plantas permitió que las poblaciones de *B. subtilis* se incrementaran en las raíces del chile dulce (Figura 2), contabilizando un mayor número de UFC de la bacteria con la dosis más alta de lombricomposta. Al respecto, Singh *et al.* (2012), Ammaan *et al.* (2019) y Maheshwari *et al.* (2019) mencionan que los abonos orgánicos son importantes en el incremento de las poblaciones bacterianas benéficas, las cuales, son un factor relevante en la productividad de las plantas. En relación al tratamiento de las plantas fertilizadas químicamente e inoculadas con *B. subtilis*, la población bacteriana disminuyó probablemente al efecto negativo que puede representar el fertilizante a base de nitrógeno o fósforo, los cuales, disminuyen la población y actividad microbiana relacionada con la fijación biológica de nitrógeno o la solubilización de fósforo, la cual, es significativa cuando estos elementos nutricionales son escasos en la rizósfera de las plantas (Nadeem *et al.*, 2014; Chiquito-Contreras *et al.*, 2017).

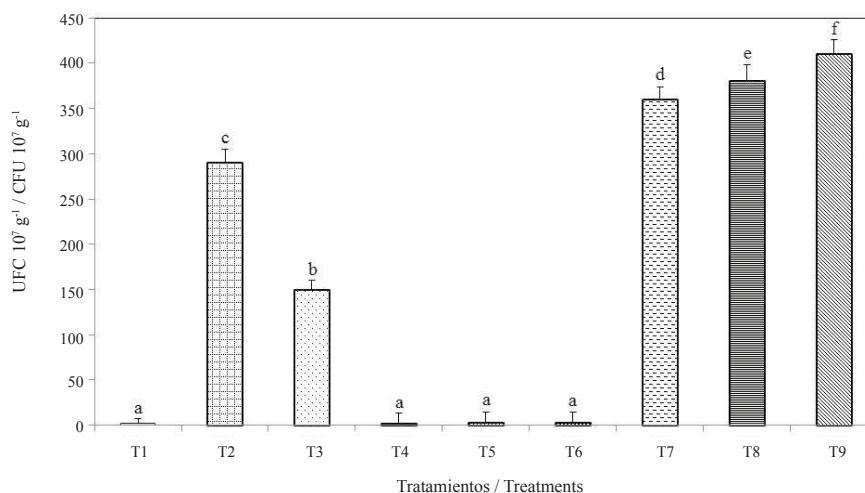
Fitohormonas y bacterias no son una aportación de los fertilizantes químicos hacia las plantas, por

the microbial activity related to the biological nitrogen fixation or phosphorus solubilization. This process is significant when these nutritional elements are scarce in the plant rhizosphere (Nadeem *et al.*, 2014; Chiquito-Contreras *et al.*, 2017).

Phytohormones and bacteria are not a contribution of chemical fertilizers toward plants; thus, organic technologies are important because of their multiple biological characteristics that allow improving their mineral nutrition, growth and productivity (Soni and Kapoor, 2019). The synergic effect exerted by the vermicompost plus the PGPB on yield increase has already been reported in several cultivations, such as tomato (Ojha *et al.*, 2016), lettuce (Khosravi *et al.*, 2018), cauliflower (Thakur *et al.*, 2018), mustard (Beenish *et al.*, 2019), among others.

Sustainability of the different agricultural systems should contemplate the use of organic manure, such as vermicompost and PGPB, such as *B. subtilis* because they are ecologically acceptable options to increase plant productivity, and with null impact to the environment and animal and human health compared to chemical fertilizers (Lim *et al.*, 2016; Vejan *et al.*, 2016).





**Figura 2. Población de *B. subtilis* en raíces de plantas de chile dulce con lombricomposta.** T1 = plantas con fertilizante químico, T2 = *B. subtilis*, T3 = *B. subtilis* + fertilizante químico, T4 = 280 g de lombricomposta, T5 = 380 g de lombricomposta T6 = 570 g de lombricomposta, T7 = *B. subtilis* + 280 g de lombricomposta, T8 = *B. subtilis* + 380 g de lombricomposta y T9 = *B. subtilis* + 570 g de lombricomposta. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (LSD de Fisher,  $P < 0.05$ ).

**Figure 2. Population of *B. subtilis* in roots of sweet pepper plants with vermicompost.** Where: T1 = plants with chemical fertilizer, T2 = *B. subtilis*, T3 = *B. subtilis* + chemical fertilizer, T4 = 280 g of vermicompost, T5 = 380 g of vermicompost, T6 = 570 g of vermicompost, T7 = *B. subtilis* + 280 g of vermicompost, T8 = *B. subtilis* + 380 g of vermicompost and T9 = *B. subtilis* + 570 g of vermicompost. Columns with the same letter are statistically equal (Fisher's LSD,  $P < 0.05$ ).

ello, las tecnologías orgánicas son importantes debido a sus múltiples características biológicas que permiten mejorar su nutrición mineral, crecimiento y productividad (Soni y Kapoor, 2019). El efecto sinérgico ejercido por la lombricomposta más BPCV sobre el aumento de la cosecha ya ha sido reportado en diversos cultivos como tomate (Ojha *et al.*, 2016), lechuga (Khosravi *et al.*, 2018), coliflor (Thakur *et al.*, 2018), mostaza (Beenish *et al.*, 2019), entre otros.

La sustentabilidad de los diversos sistemas agrícolas debe contemplar el uso de abonos orgánicos como la lombricomposta y BPCV como *B. subtilis*, debido a que son opciones para incrementar la productividad vegetal, son ecológicamente aceptables y de nulo impacto al ambiente y salud humana y animal en comparación con los fertilizantes químicos (Lim *et al.*, 2016; Vejan *et al.*, 2016).

## CONCLUSIONS

The application of both, vermicompost and *B. subtilis* increased the morphological parameters and *C. annuum* plant production in greenhouse. The highest values were significantly quantified all the variables evaluated with the highest dosage of organic manure plus the bacterium, going beyond the plant treatment with chemical fertilization. The joint application of vermicompost and *B. subtilis* may be a sustainable alternative for bell pepper cultivation.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Lidia Martínez-Juárez for technical support and Diana Fischer for translation and edition.

-End of english version-

## CONCLUSIONES

La aplicación en conjunto de lombricomposta y *B. subtilis* incrementó los parámetros morfológicos y producción de plantas de chile dulce a nivel de invernadero. Se cuantificaron significativamente los valores más altos en todas las variables evaluadas con la dosis más alta del abono orgánico más la bacteria superando al tratamiento de las plantas más fertilizante químico. La aplicación en conjunto de lombricomposta más *B. subtilis* puede ser una alternativa sustentable para el cultivo de chile dulce.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo técnico brindado por la Ing. Lidia Martínez-Juárez y a Diana Fischer por sus servicios editoriales en inglés.

-Fin de la versión en español-

## REFERENCIAS / REFERENCES

- Agrosience. 2017. Paquetes nutricionales para hortalizas. cultivo de chile. <http://www.agrosience.mx/paquetes-nutricionales/hortalizas.html#cultivos>. (Consulta: enero 10, 2018).
- Aguirre-Hernández, E. y V. Muñoz-Ocotero. 2015. El chile como alimento. *Ciencia* 66: 16-23.
- Aguirre-Mancilla, C. L., G. Iturriaga de la Fuente, J. G. Ramírez-Pimentel, J. G. Covarrubias-Prieto, F. Chablé-Moreno y J. C. Raya-Pérez. 2017. El chile (*C. annuum* L.), cultivo y producción de semilla. *Cienc. Tecnol. Agropec. Méx.* 5: 19-27.
- Aksakal, E. L., S. Sari, and I. Angin. 2016. Effects of vermicompost application on soil aggregation and certain physical properties. *Land Degrad. Dev.* 27: 983-995. doi: <https://doi.org/10.1002/ldr.2350>.
- Ali, U., N. Sajid, A. Khalid, L. Riaz, M. M. Rabbani, J. H. Syed, and R. N. Malik. 2015. A review on vermicomposting of organic wastes. *Environ. Prog. Sustain. Ener.* 34: 1050-1062. doi: <https://doi.org/10.1002/ep.12100>.
- Allard-Massicotte, R., L. Tessier, F. Lécuyer, V. Lakshmanan, J. F. Lucier, D. Garneau, L. Caudwell, H. Vlamakis, H. P. Bais, and P. B. Beauregard. 2016. *Bacillus subtilis* early colonization of *Arabidopsis thaliana* roots involves multiple chemotaxis receptors. *MBio* 7: 1-10. doi: <https://doi.org/10.1128/mBio.01664-16>.
- Álvarez-Solís, J. D., J. A. Mendoza-Núñez, N. S. León-Martínez, J. Castellanos-Albores, and F. A. Gutiérrez-Miceli. 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: 243-252. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-16202016000200007>.
- Ammaan, M., A. Akila, M. Muthukrishnan, M. A. Nivedhaa, A. Rahul, B. Rishi, S. P. Sowmya, S. Sumithra, S. Deepthi, and M. Theradimani. 2019. Effect of organic manures and biofertilizers on soil microbial population in amaranth (*Amaranthus blitum*). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 8: 700-704. doi: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2019.806.081>.
- Beenish, O., R. Singh, and E. P. Lal. 2019. Impact of nutrient management system on growth, yield and quality of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) cv. Rani variety. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 8: 4391-4394.
- Bhat, M. A., R. Rasool, and S. Ramzan. 2019. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable and eco-friendly agriculture. *Acta Sci. Agric.* 3: 23-25.
- Brar, P. S., R. Kaushal, and G. Bhardwaj. 2019. A review on beneficial effects of PGPR and noble liquid manures in enhancing soil fertility and sustainability. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 8: 409-415. doi: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2019.804.045>.
- Casas, A., A. H. Ladio, and C. R. Clement. 2019. Ecology and evolution of plants under domestication in the neotropics. *Front. Ecol. Evol.* 7: 231. doi: <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00231>.
- Chiquito-Contreras, R. G., B. Murillo-Amador, C. J. Chiquito-Contreras, J. C. Márquez-Martínez, M. V. Córdoba-Matson, and L. G. Hernández-Montiel. 2017. Effect of *Pseudomonas putida* and inorganic fertilizer on growth and productivity of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) in greenhouse. *J. Plant Nutr.* 40: 2595-2601. doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381119>.
- Choudhary, M., V. S. Meena, R. P. Yadav, M. Parihar, A. Pattanayak, S. C. Panday, P. K. Mishra, J. K. Bisht, M. R. Yadav, M. Nogia, S. K. Samal, P. Ch. Ghasal, J. Choudhary, and M. Choudhary. 2019. Does PGPR and mycorrhizae enhance nutrient use efficiency and efficacy in relation to crop productivity? pp. 45-68. *In: D. Kumar Maheshwari and S. Dheeman (eds). Field crops: Sustainable management by PGPR.* Springer Nature. Switzerland. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-30926-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30926-8_3).
- Cucu, M. A., G. Gilardi, M. Pugliese, M. L. Gullino, and A. Garibaldi. 2020. An assessment of the modulation of the population dynamics of pathogenic *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in the tomato rhizosphere by means of the application of *Bacillus subtilis* QST 713, *Trichoderma* sp. TW2 and two composts. *Biol. Control* 142: 104158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104158>.
- Durukan, H., A. Demirbaş, and U. Tutar. 2019. The effects of solid and liquid vermicompost application on yield and nutrient uptake of tomato plant. *Turk. J. Agric. Food Sci. Technol.* 7: 1069-1074.
- Espinosa-Palomeque, B., A. Moreno-Reséndez, P. Cano-Ríos, V. P. Álvarez-Reyna, J. Sáenz-Mata, H. Sánchez-Galván y G. González-Rodríguez. 2017. Inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afrodita en invernadero. *Terra Latinoamericana* 35: 169-178.
- Glick, B. R., C. L. Patten, G. Holguin, and D. M. Penrose. 1999. *Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria.* Imperial College Press. London. ISBN: 978-1-84816-052-1. <https://doi.org/10.1142/9781848160521>.

- Goswami, L., A. Nath, S. Sutradhar, S. S. Bhattacharya, A. Kalamdhad, K. Vellingiri, and K. H. Kim. 2017. Application of drum compost and vermicompost to improve soil health, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants. *J. Environ. Manage.* 200: 243-252. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.073>.
- Gupta, R., S. Swami, and A. P. Rai. 2019. Impact of integrated application of vermicompost, farmyard manure and chemical fertilizers on okra (*Abelmoschus esculentus* L.) performance and soil biochemical properties. *Int. J. Chem. Stud.* 7: 1714-1718.
- Haghighi, M. and M. R. Barzegar. 2018. Growth, yield index, and photosynthesis traits of sweet pepper grown in vermicompost inoculated with arbuscular mycorrhiza. *Iran Agric. Res.* 37: 69-80. doi: <https://doi.org/10.22099/IAR.2018.5065>.
- Hanc, A., V. Enev, T. Hrebeckova, M. Klucakova, and M. Pekar. 2019. Characterization of humic acids in a continuous-feeding vermicomposting system with horse manure. *Waste Manage.* 99: 1-11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.032>.
- He, Y., M. Zhu, J. Huang, T. Hsiang, and L. Zheng. 2019. Biocontrol potential of a *Bacillus subtilis* strain BJ-1 against the rice blast fungus *Magnaporthe oryzae*. *Can. J. Plant Pathol.* 41: 47-59. doi: <https://doi.org/10.1080/07060661.2018.1564792>.
- Huang, P., J. Xu, and J. W. Kloepper. 2020. Plant-microbe-soil fertility interaction impacts performance of a *Bacillus* containing bioproduct on bell pepper. *J. Basic Microbiol.* 60: 27-36. doi: <https://doi.org/10.1002/jobm.201900435>.
- Jamily, A. S., Y. Koyama, T. A. Win, K. Toyota, S. Chikamatsu, T. Shirai, T. Uesugi, H. Murakami, T. Ishida, and T. Yasuhara. 2019. Effects of inoculation with a commercial microbial inoculant *Bacillus subtilis* C-3102 mixture on rice and barley growth and its possible mechanism in the plant growth stimulatory effect. *J. Plant Prot. Res.* 59: 193-205. doi: <https://doi.org/10.24425/jppr.2019.129284>.
- Jaramillo N., J., V. P. Rodríguez, A. M. Guzmán, M. A. Zapata y M. T. Rengifo. 2007. Manual técnico buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. CORPOICA-MANA-Gobernación de Antioquia-FAO Medellín, Colombia. ISBN: 978-92-5-305833-4.
- Khosravi, A., M. Zarei, and A. Ronaghi. 2018. Effect of PGPR, phosphate sources and vermicompost on growth and nutrients uptake by lettuce in a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 41: 80-89. doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381727>.
- Kudoyarova, G., T. N. Arkhipova, T. Korshunova, M. Bakaeva, O. Loginov, and I. C. Dodd. 2019. Phytohormone mediation of interactions between plants and non-symbiotic growth promoting bacteria under edaphic stresses. *Front. Plant Sci.* 10: 1368. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01368>.
- Kumar, A., Y. Elad, L. Tsechansky, V. Abrol, B. Lew, R. Offenbach, and E. R. Graber. 2018. Biochar potential in intensive cultivation of *Capsicum annuum* L. (sweet pepper): Crop yield and plant protection. *J. Sci. Food Agr.* 98: 495-503. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8486>.
- Lee, S., C. S. Trinh, W. J. Lee, C. Y. Jeong, H. A. Truong, N. Chung, Ch. S. Kang, and H. Lee. 2020. *Bacillus subtilis* strain L1 promotes nitrate reductase activity in *Arabidopsis* and elicits enhanced growth performance in *Arabidopsis*, lettuce, and wheat. *J. Plant Res.* 133: 231-244. doi: <https://doi.org/10.1007/s10265-019-01160-4>.
- Lim, S. L., L. H. Lee, and T. Y. Wu. 2016. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *J. Clean. Prod.* 111: 262-278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>.
- López A., M., J. E. Poot M. y M. A. Mijangos C. 2012. Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. *Rev. Cient. UDO Agric.* 12: 307-312.
- Maheshwari, D. K., M. Saraf, and S. Dheeman. 2019. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as protagonists of ever-sustained agriculture: An introduction. pp. 1-10. In: D. K. Maheshwari and S. Dheeman (eds.). *Field crops: Sustainable management by PGPR*. Springer Nature. Switzerland. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-30926-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30926-8_1).
- Maji, D., P. Misra, S. Singh, and A. Kalra. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.10.008>.
- Nadeem, S. M., M. Ahmad, Z. A. Zahir, A. Javaid, and M. Ashraf. 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnol. Adv.* 32: 429-448. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>.
- Ndeddy A., R. J. and O. O. Babalola. 2016. Effect of bacterial inoculation of strains of *Pseudomonas aeruginosa*, *Alcaligenes faecalis* and *Bacillus subtilis* on germination, growth and heavy metal (Cd, Cr, and Ni) uptake of *Brassica juncea*. *Int. J. Phytoremediat.* 18: 200-209. doi: <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1073671>.
- Nkansah, G. O., J. C. Norman, and A. Martey. 2017. Growth, yield and consumer acceptance of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) as influenced by open field and greenhouse production systems. *J. Hortic.* 4: 216-223. doi: <https://doi.org/10.4172/2376-0354.1000216>.
- Ojha, S. K., J. C. Benjamin, and A. K. Singh. 2018. Effect of compost in combination with PGPR on growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) plant. *Int. J. Agric. Sci. Res.* 6: 63-72.
- Parastesh, F., H. A. Alikhani, and H. Etesami. 2019. Vermicompost enriched with phosphate-solubilizing bacteria provides plant with enough phosphorus in a sequential cropping under calcareous soil conditions. *J. Clean. Prod.* 221: 27-37. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.234>.
- Pérez-Castañeda, L. M., G. Castañón-Nájera, M. Ramírez-Eraz y N. Mayek-Pérez. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosist. Recur. Agropec.* 2: 117-128.
- Prakash, J. and N. K. Arora. 2019. Phosphate-solubilizing *Bacillus* sp. enhances growth, phosphorus uptake and oil yield of *Mentha arvensis* L. *3 Biotech.* 9: 126. doi: <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1660-5>.
- Ravindran, B., S. R. Lee, S. W. Chang, D. D. Nguyen, W. J. Chung, B. Balasubramanian, H. A. Mupambwa, M. V. Arasu, N. A. Al-Dhabi, and G. Sekaran. 2019. Positive effects of compost and vermicompost produced from tannery waste-animal fleshing on the growth and yield of commercial crop-tomato

- (*Lycopersicon esculentum* L.) plant. J. Environ. Manage. 234: 154-158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.100>.
- Rizzi, A., S. Roy, J. P. Bellenger, and P. B. Beauregard. 2019. Iron homeostasis in *Bacillus subtilis* requires siderophore production and biofilm formation. Appl. Environ. Microbiol. 85: e02439-18. doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.02439-18>.
- Roychowdhury, D., S. Mondal, and S. K. Banerjee. 2017. The effect of biofertilizers and the effect of vermicompost on the cultivation and productivity of maize-a review. Adv. Crop Sci. Technol. 5: 1-4. doi: <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000261>.
- SAGARPA-SIAP (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Atlas agroalimentario 2017. SIAP. México.
- Sharma, K. and V. K. Garg. 2018. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). Bioresour. Technol. 250: 708-715. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101>.
- Singh, R., S. Divya, A. Awasthi, and A. Kalra. 2012. Technology for efficient and successful delivery of vermicompost colonized bioinoculants in *Pogostemon cablin* (patchouli) Benth. World J. Microbiol. Biotechnol. 28: 323-333. doi: <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0823-2>.
- Soni, B. and C. S. Kapoor. 2019. Comparative study of synthetic fertilizer: Organic fertilizer & their effects on seeds germination. J. Pharmacogn. Phytochem. 8: 2196-2199.
- Thakur, J., P. Kumar, and Mohit. 2018. Studies on conjoint application of nutrient sources and PGPR on growth, yield, quality, and economics of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.). J. Plant Nutr. 41: 1862-1867. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1463382>.
- Vejan, P., R. Abdullah, T. Khadiran, S. Ismail, and A. N. Boyce. 2016. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability-a review. Molecules 21: 573. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>.
- Verma, B. C., P. Pramanik, and D. Bhaduri. 2020. Organic fertilizers for sustainable soil and environmental management. pp. 289-313. In: R. Swaroop Meena (ed.). Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production. Springer. Singapore. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_10).
- Viti, C., E. Tatti, F. Decorosi, E. Lista, E. Rea, M. Tullio, E. Sparvol, and L. Giovannetti. 2010. Compost effect on plant growth promoting rhizobacteria and mycorrhizal fungi population in maize cultivations. Compost Sci. Util. 18: 273-281. doi: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2010.10736966>.
- Wagi, S. and A. Ahmed. 2019. *Bacillus* spp.: potent microfactories of bacterial IAA. PeerJ. 7: e7258. doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.7258>.
- Wang, S., J. Liu, C. Li, and B. M. Chung. 2019. Efficiency of *Nannochloropsis oculata* and *Bacillus polymyxa* symbiotic composite at ammonium and phosphate removal from synthetic wastewater. Environ. Technol. 40: 2494-2503. doi: <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1444103>.
- Yang, H., H. Liu, J. Zheng, and Q. Huang. 2018. Effects of regulated deficit irrigation on yield and water productivity of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) in the arid environment of Northwest China. Irrig. Sci. 36: 61-74. doi: <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0566-4>.
- Yuan, J., Z. M. Sha, D. Hassani, Z. Zhao, and L. K. Cao. 2017. Assessing environmental impacts of organic and inorganic fertilizer on daily and seasonal greenhouse gases effluxes in rice field. Atmos. Environ. 155: 119-128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.02.007>.
- Zhao, H. T., T. P. Li, Y. Zhang, J. Hu, Y. C. Bai, Y. H. Shan, and F. Ke. 2017. Effects of vermicompost amendment as a basal fertilizer on soil properties and cucumber yield and quality under continuous cropping conditions in a greenhouse. J. Soil Sediment. 17: 2718-2730. doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1744-y>.