



## BIOFERTILIZANTES Y SUSTRATOS ORGÁNICO-MINERALES EN EL CULTIVO DE CHILE HABANERO

### BIOFERTILIZERS AND ORGANIC-MINERAL SUBSTRATES IN HABANERO PEPPER CROP

Jonás A. Luna-Fletes<sup>1</sup>, Elia Cruz-Crespo<sup>1\*</sup>, Álvaro Can-Chulim<sup>1</sup>, Wilberth Chan-Cupul<sup>2</sup>, Gregorio Luna-Esquivel<sup>1</sup>, Juan D. García-Paredes<sup>1</sup>, Gisela Aguilar-Benítez<sup>3</sup>, Francisco Palemón-Alberto<sup>4</sup> y Oscar Raúl Mancilla-Villa<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura, Xalisco, Nayarit, México. <sup>2</sup>Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Tecoman, Colima, México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas, San Luis Potosí, México. <sup>4</sup>Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Iguala, México. <sup>5</sup>Universidad de Guadalajara, Departamento de Producción Agrícola, Autlán de Navarro, Jalisco, México.

\*Autor de correspondencia (ccruz2006@yahoo.com.mx)

#### RESUMEN

Los biofertilizantes solubilizan P, e incluso producen reguladores del crecimiento de las plantas; los sustratos orgánico-minerales proporcionan condiciones de humedad, aireación y nutrición adecuadas, por lo que la combinación de ambos factores puede ser una opción sustentable para incrementar la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). El objetivo de la presente investigación fue evaluar los biofertilizantes *Purpureocillium lilacinum* y *Beauveria brongniartii* en el sustrato pumita, así como en las mezclas de pumita + compost o pumita + cascarilla de arroz sobre el crecimiento, concentración nutrimental foliar, producción y tamaño de fruto de chile habanero. El diseño experimental usado fue completamente al azar con arreglo factorial (dos biofertilizantes y tres sustratos). Las plantas inoculadas con *B. brongniartii* obtuvieron valores más altos en diámetro de tallo, altura, área foliar, volumen de raíz, biomasa seca aérea y biomasa seca de raíz, así como en el diámetro ecuatorial y longitudinal de fruto; sin embargo, con *P. lilacinum* tanto la producción de frutos como la concentración de P foliar fue de 8 a 9 % mayor. El crecimiento de planta, la concentración de N y K, e incluso el tamaño de fruto, fueron de mayor valor en el sustrato pumita + compost con respecto a las plantas desarrolladas en pumita o pumita + cascarilla de arroz; asimismo, con este sustrato se incrementó la producción de fruto hasta en 13 %. Se concluye que al combinar *P. lilacinum* con pumita + compost el crecimiento de planta, la producción y el peso de fruto aumentaron en comparación con los demás tratamientos, por lo que este tratamiento se consideró viable para la producción de chile habanero.

**Palabras clave:** *Capsicum chinense*, *Beauveria brongniartii*, *Purpureocillium lilacinum*, compost, producción de fruto.

#### SUMMARY

Biofertilizers solubilize P, and even produce plant growth regulators; organic-mineral substrates provide adequate moisture, aeration and nutrition; thus, the combination of both factors can be a sustainable option to increase production of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). The aim of this research was to evaluate the biofertilizers *Purpureocillium lilacinum* and *Beauveria brongniartii* in the pumice substrate, as well as in the mixtures of pumice + compost or pumice + rice husk on growth, foliar nutrient concentration, production and size of habanero pepper fruit. The experimental design used was completely randomized with factorial arrangement (two biofertilizers and three substrates). Plants inoculated with *B. brongniartii*

obtained higher values in stem diameter, height, leaf area, root volume, aerial dry biomass and root dry biomass, as well as in the equatorial and longitudinal diameter of the fruit; however, with *P. lilacinum* both fruit production and foliar P concentration were 8 to 9 % higher. The plant growth, concentration of N and K, and even the fruit size were of higher value in the pumice + compost substrate, relative to the plants developed in pumice, or pumice + rice husk; this substrate also increased fruit production by up to 13 %. It is concluded that by combining *P. lilacinum* with pumice + compost plant growth, production and fruit weight increased compared to the other treatments; therefore, this treatment was considered viable for the production of habanero pepper.

**Index words:** *Capsicum chinense*, *Beauveria brongniartii*, *Purpureocillium lilacinum*, compost, fruit production.

#### INTRODUCCIÓN

Hoy en día se busca reducir el impacto ambiental y económico por el manejo inadecuado de los fertilizantes y el agua, sin afectar el rendimiento y calidad de los cultivos, por lo que se han propuesto alternativas de fertilización sustentable y técnicas que eficientizan el uso del agua y nutrimentos; al respecto, los biofertilizantes y el uso de sustratos son una opción (González *et al.*, 2018; Pérez *et al.*, 2018).

Los biofertilizantes son microorganismos (hongos o bacterias) capaces de mejorar la fertilidad del suelo, e incluso promover el crecimiento de las plantas, esto mediante la solubilización y mineralización de nutrientes como P y K, y la síntesis de reguladores del crecimiento, tales como auxinas, giberelinas, citocininas y etileno, lo que puede incrementar el desarrollo y producción de los cultivos, y reducir la fertilización en el sistema (Gamboa-Angulo *et al.*, 2020; Pérez-Velasco *et al.*, 2019). Los microorganismos benéficos que más destacan son *Purpureocillium lilacinum* y *Beauveria brongniartii*, dado que éstos sobreviven en el suelo o sustrato durante

un periodo de tiempo largo, se adaptan a condiciones edafoclimáticas diferentes, se asocian con la rizosfera de las plantas, tienen hábitos saprobios y facultativos, y controlan plagas (Baron *et al.*, 2020; Chan-Cupul *et al.*, 2018). Estas especies producen sideróforos y ácido indol-3-acético, y solubilizan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  y  $\text{FePO}_4$  (Moreno-Salazar *et al.*, 2019; Toscano-Verduzco *et al.*, 2019).

Existen estudios donde se demostró que la inoculación de *P. lilacinum* en sustrato o suelo incrementaron el crecimiento de planta, concentración de P foliar y producción de chile habanero (Moreno-Salazar *et al.*, 2019), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y soya (*Glycine Max* L.) (Baron *et al.*, 2020); en cambio, existen pocos reportes sobre el efecto positivo de *B. brongniartii* en la promoción del crecimiento de los cultivos, la mayoría de los estudios se realizaron con *Beauveria bassiana* (Canassa *et al.*, 2019; Tall y Meyling, 2018).

En cuanto a los sustratos, la pumita, la cascarilla de arroz y el compost se pueden obtener en Nayarit, México. La pumita está compuesta principalmente de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , y se caracteriza por su porosidad interna, retención de humedad y aireación alta, pH neutro y drenaje apropiado (Ramírez-Gómez *et al.*, 2015); la cascarilla de arroz posee una tasa de descomposición baja, es liviana, y con buen drenaje y aireación (Neutzling *et al.*, 2018). Estas características pueden maximizar el potencial del bagazo de caña en los cultivos (Sarduy *et al.*, 2016); además, en la última década el compost fue el material orgánico que más se estudió como parte de un sustrato (Meneses-Fernández y Quesada-Roldán, 2018; Pérez *et al.*, 2018); en estos reportes se señaló que las mezclas de compost con sustratos inorgánicos presentaron aireación adecuada y retención de humedad alta, y aportaron nutrimentos y hormonas, lo que generó un efecto positivo en el crecimiento y producción de las plantas, y contribuyó en la reducción del uso del agua y fertilizantes químicos; sin embargo, información del efecto de los sustratos orgánico-minerales en combinación con los biofertilizantes en el cultivo de plantas es escasa (González *et al.*, 2018). Cortés-Patiño *et al.* (2015) indicaron que la capacidad de los microorganismos para proliferar y aumentar su población depende del contenido de materia orgánica, humedad y disponibilidad de nutrimentos en el medio; por ésto, es relevante realizar investigación sobre sustratos y biofertilizantes que combinados resulten en buen crecimiento y producción de los cultivos.

En el año 2020, en México el estado de Nayarit se ubicó en el séptimo lugar como productor de chile habanero, con aproximadamente 1010 t y crecimiento anual del 48 % (SIAP, 2020). Nayarit posee las condiciones agroclimáticas adecuadas para el cultivo de este tipo de chile, el cual es atractivo para los consumidores por sus características

organolépticas y alto contenido de flavonoides, polifenoles, vitamina C y capsaicina (Moo-Huchin *et al.*, 2019). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar los biofertilizantes *P. lilacinum* y *B. brongniartii* en combinación con el sustrato pumita, y en las mezclas de pumita más compost, y pumita más cascarilla de arroz en el crecimiento, concentración nutrimental foliar, producción y tamaño de fruto de chile habanero en invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio experimental

La investigación se realizó en un invernadero con ventilación cenital y lateral con polietileno blanco 25 % sombra y malla antiáfida en la parte lateral, de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit en Xalisco, Nayarit, México (21° 25' 40" N, 104° 53' 30" O). La temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa promedio fueron de 26 °C, 86 % y 641  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente.

### Tratamientos, diseño y unidad experimental

Los factores estudiados fueron los biofertilizantes *P. lilacinum* (Pli) y *B. brongniartii* (Bbr), y los sustratos pumita (PU), pumita + compost de bagazo de caña (PU + CO) y pumita + cascarilla de arroz (PU + CA), ambas mezclas en proporción 1:1 v/v; también, se evaluó la pumita sin biofertilizante (testigo), lo que originó siete tratamientos. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 2 x 3 con 12 repeticiones. La unidad experimental consistió de una planta de chile habanero con cuatro tallos.

Los microorganismos *P. lilacinum* y *B. brongniartii* se obtuvieron de la colección de hongos entomopatógenos de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Colima, México. El aislamiento e identificación molecular se realizó de acuerdo con Chan-Cupul *et al.* (2018), y la producción de esporas de ambas cepas se llevó a cabo en laboratorio; para ello, se utilizaron 200 g de grano de arroz entero, el cual se lavó con agua potable, después se colocó en bolsa de polietileno de 2 kg y se esterilizó en autoclave (Sterilmatic®, New York, EUA) durante 30 min, a 121 °C y 1.054 kg  $\text{cm}^{-2}$ ; después, cada bolsa se inoculó con 1 mL de suspensión de esporas ( $1 \times 10^8$  esporas  $\text{mL}^{-1}$ ), y se incubaron durante 21 días a 25 °C, 80 % de humedad y con luz artificial blanca (Negrete *et al.*, 2018); posteriormente, las bolsas se lavaron con agua purificada y Tween 80 al 0.05 %, el líquido se centrifugó a 36,000 rpm durante 10 min (centrifuga Eppendorf®, Modelo 5810, Hamburgo, Alemania), y la pasta resultante se deshidrató en campana de flujo laminar para obtener el producto sólido de esporas, de acuerdo con Negrete *et*

*al.* (2018). Previo a la aplicación de los biofertilizantes, se realizó un conteo (concentración) y un análisis de viabilidad de las esporas de *P. lilacinum* y *B. brongniartii*, de acuerdo con la metodología de Viera *et al.* (2018).

### Manejo agronómico

Se sembró una semilla de chile habanero Chichen Itzá (Seminis®, México) por cavidad en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato peat moss (Sunshine 3®) + compost de bagazo de caña (Terrasana®, México) en proporción 1:1 (v/v), previamente humedecido. Después de la emergencia de la plántula se aplicaron dos riegos al día, cada uno de 600 mL por charola, con la solución nutritiva de Steiner (1984) al 25 % de concentración. El trasplante se realizó cuando las plantas presentaron una altura promedio de 14 cm (50 días después de la siembra); se colocó una planta por maceta de polietileno con capacidad de 10 L, rellena con el sustrato pumita o pumita + compost, o pumita + cascarilla de arroz, de acuerdo con el tratamiento. Las macetas tuvieron un arreglo topológico de 1.20 m entre líneas y 0.40 m entre plantas, para una densidad de población de 2.08 plantas m<sup>-2</sup>.

La pumita se obtuvo de una mina (Cladimaco®, México), la cascarilla de arroz de una planta arrocerca (Integradora de Arroceros de la Costa del Nayar, México) y el compost fue de bagazo de caña (Terrasana®, México). Las propiedades químicas y composición nutrimental de los sustratos se muestran en el Cuadro 1, y las propiedades físicas de la pumita pura y en mezclas se presentan en el Cuadro 2,

estas últimas fueron determinadas de acuerdo con la metodología de Pire y Pereira (2003).

### Solución nutritiva y aplicación de biofertilizantes

Después del trasplante se inició el riego con la solución de Steiner al 75 % de concentración. Esta consistió (meq L<sup>-1</sup>) de 0.75 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 5.25 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 9 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 6.75 Ca<sup>2+</sup>, 5.25 K<sup>+</sup> y 3 Mg<sup>2+</sup>, con conductividad eléctrica de 1.73 dS m<sup>-1</sup> y pH de 6.2, y los fertilizantes que se utilizaron fueron KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, KNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; los micronutrientes (mg L<sup>-1</sup>) se suministraron en 0.24 Zn-EDTA, 1.48 Mn-EDTA, 0.12 Cu-EDTA, 0.16 B, 3 Fe-EDTA y 0.08 Mo. En la formulación de la solución nutritiva se tomó en cuenta el aporte nutrimental del agua. El sistema de riego fue por goteo con un emisor de 3 L h<sup>-1</sup> por maceta; se aplicó en etapa vegetativa y en etapa de fructificación en promedio por planta, respectivamente, 0.7 y 1.7 L en el sustrato pumita, 0.5 y 1.5 L en el sustrato pumita + compost, y 0.6 y 1.6 L en el sustrato pumita + cascarilla de arroz.

Los biofertilizantes se suministraron una vez por semana, a partir del trasplante hasta los 140 ddt; se preparó una dosis de 2 g de producto sólido de esporas de *B. brongniartii* o *P. lilacinum* L<sup>-1</sup> de agua (1 × 10<sup>6</sup> esporas mL<sup>-1</sup>), y se suministraron 200 mL de suspensión de esporas al pie de la planta, de acuerdo con Moreno-Salazar *et al.* (2019) y Toscano-Verduzco *et al.* (2019).

**Cuadro 1. Propiedades químicas y composición nutrimental de los sustratos en la producción de chile habanero Chichen Itzá en invernadero.**

Sustrato	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	CIC meq 100 g <sup>-1</sup>	N	P	K	Ca	Mg
				mg kg <sup>-1</sup>				
Pumita	6.60	0.06	-	-	-	-	-	-
Compost	6.78	1.88	29	569.92	32.72	2262.87	534.40	238.95
Cascarilla de arroz	6.87	0.76	12	13.42	8.27	1985.09	86.84	939.60

CE: conductividad eléctrica, CIC: capacidad de intercambio catiónico.

**Cuadro 2. Propiedades físicas de la pumita pura y en mezclas en la producción de chile habanero Chichen Itzá en invernadero.**

Sustrato (v/v)	PTO (%)	CDA (%)	RDA (%)	DAP (g cm <sup>-3</sup> )
Pumita	63.50	24.22	39.29	0.54
Pumita + compost (1:1)	63.09	13.01	50.08	0.56
Pumita + cascarilla de arroz (1:1)	63.89	16.64	47.25	0.46

PTO: porosidad total, CDA: capacidad de aireación, RDA: retención de agua, DAP: densidad aparente.

### VARIABLES EVALUADAS

Las variables que se evaluaron a los 140 ddt fueron: diámetro de tallo (DT), se determinó a 5 cm arriba del sustrato con un vernier digital Truper Caldi-6MP® (Jilotepec, Estado de México, México); altura de planta (AP), se midió con una cinta métrica desde el inicio de la base del tallo hasta el ápice; área foliar (AF), se midió con un integrador de área foliar (LI-COR, Li-3100®, Lincoln, Nebraska, EUA); volumen de raíz (VLR), se realizó por desplazamiento de agua en una probeta graduada; biomasa seca de la parte aérea (BSA), se cortó la planta desde la base del tallo y se secó a 65 °C por 72 h en una estufa (Felisa FE-294®, Zapopan, Jalisco, México); posteriormente, se pesó en una balanza (A&D GX-2000®, Ann Arbor, Michigan, EUA); biomasa seca de raíz (BSR), de la raíz se eliminaron fragmentos de sustrato, después se secaron a 65 °C por 72 h en una estufa (Felisa FE-294®, Jalisco, México); posteriormente, se obtuvo el peso en una balanza A&D GX-2000®; producción de fruto por planta, los frutos se cosecharon cuando presentaron coloración rayada o naranja, y estos se pesaron con una balanza A&D GX-2000®, desde los 64 hasta los 160 ddt (18 cortes en total); concentración nutrimental, se determinó en hojas sanas y maduras de la parte media de la planta en etapa de producción, las cuales se lavaron con agua destilada, se secaron y se molieron; posteriormente, la muestra molida se sometió a digestión húmeda para después proceder al análisis nutrimental; el N total se midió por el método de Kjeldahl; el P por el método vanadato-molibdato, las lecturas se realizaron con un espectrofotómetro (Labomed Spectro 23-RS®, Los Angeles, California, EUA); el K se leyó en un flamómetro (Cole-Parmer, 360 Flame Photometer®, Vernon Hills, Illinois, EUA), de acuerdo con Alcántar y Sandoval (1999); lecturas SPAD, se determinaron a los 70 y 140 ddt en hojas maduras con un equipo Minolta (SPAD 502 Plus®, Tokio, Japón).

El tamaño de fruto se determinó en una muestra de 200 frutos que se colectaron durante los 18 cortes de cada tratamiento; el diámetro ecuatorial, se midió en la parte media del fruto y el diámetro longitudinal se determinó desde el pedúnculo hasta el ápice con un vernier digital Truper Caldi-6MP® (Estado de México, México); peso de fruto, cada fruto se pesó con una balanza A&D GX-2000®.

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos de las variables se sometieron a análisis de varianza, comparación de medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) y análisis de correlación de Pearson mediante el paquete estadístico SAS® versión 9.0 para Windows®.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Efecto del biofertilizante en el crecimiento, producción de fruto, concentración nutrimental foliar y lecturas SPAD

El biofertilizante causó efecto significativo en el DT, AP, AF, VLR y BSA, producción de fruto y concentración de P foliar, más no en la BSR, concentración de N y K, y lecturas SPAD. Las plantas que se inocularon con *B. brongniartii* obtuvieron los valores más altos en el DT con 9 %, AP con 1 %, AF con 8 %, VLR con 11 % y BSA con 6 % en relación con *P. lilacinum*; en cambio, con *P. lilacinum* la producción de fruto y concentración de P fue superior en 9 y 8 %, respectivamente (Cuadros 3 y 4). Las diferencias en el crecimiento de planta se pueden atribuir a que *B. brongniartii* en estudios de laboratorio produjo mayor cantidad de ácido indol-3-acético (AIA) a razón de 44.9 mg L<sup>-1</sup>, en comparación con *P. lilacinum* (25.8 mg L<sup>-1</sup>) (Moreno-Salazar *et al.*, 2019. Toscano-Verduzco *et al.*, 2019). Jiménez-Mariña *et al.* (2019) señalan que el AIA promueve la longitud de brotes, elongación de tallos, y la división y diferenciación celular, por lo cual se incrementa el crecimiento y desarrollo vegetal. Estos resultados fueron similares a los que obtuvieron Jaber y Enkerli (2016) en plantas de haba (*Vicia faba* L.), quienes encontraron que la altura, número de hojas y biomasa fresca de raíz fue superior con la inoculación de *B. brongniartii* en comparación con *B. bassiana*. Toscano-Verduzco *et al.* (2019) en plantas de chile habanero Maya Kisín reportaron que el diámetro de tallo y la altura incrementaron con aplicaciones de *B. brongniartii*, en comparación con las plantas sin biofertilizante; sin embargo, el mayor crecimiento de planta que se obtuvo con *B. brongniartii* no favoreció el incremento de la producción de fruto; esto coincide con lo reportado por Gamboa-Angulo *et al.* (2020), quienes demostraron que las plantas de chile xcat'ik (*Capsicum annum* L.) aumentaron la altura, peso seco y volumen de raíz con la inoculación de *Trichoderma harzanium*, pero el rendimiento de fruto disminuyó con respecto a las plantas sin inóculo.

La producción de fruto más alta con *P. lilacinum* se atribuyó a la mayor concentración de P foliar, ya que este nutrimento está involucrado en procesos fisiológicos y bioquímicos, es componente de ácidos nucleicos, forma parte de las estructuras de las membranas y regula el metabolismo energético de las plantas, lo que influye en la producción de las mismas (Salinas *et al.*, 2012). Hernández-Leal *et al.* (2016) demostraron la concentración de P y el rendimiento de avena (*Avena sativa* L.) incrementaron con aplicaciones de *P. lilacinum* en comparación con las plantas sin biofertilizante.

### Efecto del sustrato en el crecimiento, producción de fruto, concentración nutrimental foliar y lecturas SPAD

El sustrato tuvo efecto significativo en las seis variables del crecimiento, en la producción de fruto, en la concentración de N y K foliar, y en lecturas SPAD, mas no en la concentración de P. Las plantas en el sustrato pumita + compost, en comparación con la pumita, y pumita + cascarilla de arroz, incrementaron el DT en 16 y 21 %, la AP en 7 y 8 %, el AF en 10 y 12 %, el VLR en 18 %, la BSA en 19 y 14 %, la BSR en 22 y 26 %, y la producción de fruto en 13 y 8 %, respectivamente. Con el sustrato pumita + compost la concentración de N aumentó en 4 y 5 %, de K en 2 y 3 %, y de las lecturas SPAD en 3 y 11 %, con respecto a la pumita y pumita + cascarilla de arroz, respectivamente (Cuadros 3 y 4). También, se encontró correlación entre la BSA con la producción de fruto ( $r = 0.46^*$ ), y la concentración de N foliar con la BSA ( $r = 0.47^*$ ) y BSR ( $r = 0.48^*$ ).

El incremento del valor de las variables en el sustrato pumita + compost se adjudicó a la retención de agua que presentó este sustrato (50.08 %), el cual fue más alto en comparación con la pumita (39.29 %) o con la pumita + cascarilla de arroz (47.25 %) (Cuadro 2); además, el contenido nutrimental en el compost fue mayor en relación con la cascarilla de arroz (Cuadro 1), lo que benefició el abastecimiento de agua y nutrimentos para las plantas de chile habanero e incrementó su concentración nutrimental, crecimiento y producción de fruto, en concordancia con los resultados de Galeote-Cid *et al.* (2022), puesto que en plantas de chile Huacle (*Capsicum annum* L.) reportaron que la altura y producción de fruto aumentó con el sustrato compost de estiércol bovino (35 %) + arena (65 %), en comparación con el sustrato arena (100 %), ésto lo atribuyeron al aporte mayor de nutrientes por el compost. También, las lecturas SPAD fueron más altas en el sustrato pumita + compost; éstas se relacionan directamente con el contenido de N en hojas y con la producción de clorofila y fotosíntesis (Mendoza-Tafolla *et al.*, 2019), lo que incrementó el valor de las variables del crecimiento y producción de frutos. Lo anterior se constató con las correlaciones positivas entre las lecturas SPAD y la AP ( $r = 0.58^{**}$ ), el DT ( $r = 0.62^{**}$ ), la BSA ( $r = 0.50^*$ ), la BSR ( $r = 0.64^{**}$ ) y el VLR ( $r = 0.62^{**}$ ).

Existen otros estudios donde se evaluó el compost o vermicompost como parte de un sustrato, tal como el de Sarduy *et al.* (2016) en plantas de pimiento (*Capsicum annum* L.), donde se reportó que el diámetro de tallo y producción de fruto incrementó en 20 y 17 %, respectivamente, al emplear el sustrato turba + fibra de coco + vermicompost de estiércol bovino (1:1:1 v/v/v), con respecto a la mezcla turba + fibra de coco

(1:1 v/v). Meneses-Fernández y Quesada-Roldán (2018) encontraron que la altura, la concentración de N foliar y la producción de fruto de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) fueron mayores en el sustrato fibra de palma + fibra de coco + compost de bagazo de caña (40:40:20 v/v/v) en relación con las plantas que se cultivaron en fibra de palma + fibra de coco (50:50 v/v), y señalaron que el sustrato con compost presentó contenido nutrimental (N, Ca, Mg y K) y retención de agua superior en comparación con la fibra de palma + fibra de coco. Tales resultados fueron similares a los que se encontraron en la presente investigación.

### Efecto de la interacción biofertilizante x sustrato en el crecimiento, producción de fruto, concentración nutrimental foliar y lecturas SPAD

La interacción biofertilizante × sustrato tuvo efecto significativo en el DT, AP, AF, VLR, producción de fruto y lecturas SPAD. En las interacciones Bbr × PU, Pli × PU + CO y Bbr × PU + CO el DT incrementó en 11, 19 y 15 %, mientras que la altura aumentó en 4, 10 y 9 %, respectivamente, en comparación con el testigo. Con Pli × PU + CO, y Bbr × PU + CO se obtuvieron los mayores valores de AF en 7 y 23 %, y de VLR en 25 y 23 % con respecto al testigo. La producción de fruto fue 9 % mayor con Pli × PU + CO en comparación con el testigo; la menor producción de fruto se obtuvo con las combinaciones Bbr × PU, y Bbr × PU + CA. Para las lecturas SPAD, la interacción Pli × PU + CO coadyuvó en la obtención de los valores más altos (4 %), con respecto al testigo (Cuadros 3 y 4).

El efecto positivo de combinar *P. lilacinum* con el sustrato pumita + compost en el crecimiento y producción de las plantas de chile habanero se asoció con el tipo de sustrato, dado que los sustratos con compost aportan mayor cantidad de materia orgánica y nutrimentos, y retienen más agua en comparación con los sustratos sin éste, tal como lo señalaron Sarduy *et al.* (2016). Estos elementos contribuyen en el incremento de la colonización y población de los microorganismos en la zona radical, lo que estimula el crecimiento y producción de los cultivos, según Cortés-Patiño *et al.* (2015). González *et al.* (2018), en plantas de tomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.), reportaron que la producción de fruto fue mayor con la inoculación de *Bacillus* sp. en el sustrato compost de estiércol bovino + arena de río + perlita en proporción 50:40:10 v/v/v, con respecto a las plantas en el sustrato arena de río sin inóculo. Dada la falta de información sobre hongos entomopatógenos solubilizadores en combinación con sustratos orgánico-minerales, se tomó como referencia los resultados de la bacteria *Bacillus* sp. en combinación con este tipo de sustratos, los cuales fueron similares con los de la investigación.

**Cuadro 3. Efecto del biofertilizante, sustrato sobre las variables del crecimiento y producción de chile habanero Chichen Itzá en invernadero.**

Factor de variación	DT (mm)	AP (cm)	AF (cm <sup>2</sup> )	VLR (mL)	BSA (g)	BSR (g)	PF (g/planta)
Biofertilizante (B)	**	*	*	**	*	ns	**
Pli	15.74 b	281.13 b	96.33 b	172.77 b	155.95 b	30.07 a	1387.47 a
Bbr	17.23 a	285.00 a	105.13 a	193.88 a	166.56 a	31.76 a	1259.86 b
DSH	0.52	3.70	8.22	9.21	8.98	3.26	34.69
Sustrato (S)	**	**	*	**	**	**	**
PU	15.51 b	276.10 b	95.91 b	171.66 b	146.19 b	28.74 b	1238.45 c
PU + CO	18.41 a	297.90 a	108.44 a	208.33 a	181.30 a	36.76 a	1425.24 a
PU + CA	15.54 b	275.20 b	95.83 b	170.00 b	156.28 b	27.24 b	1307.29 b
DSH	0.77	5.49	12.33	13.82	13.47	4.90	51.15
Interacción B × S	**	*	**	**	ns	ns	**
Pli × PU	13.86 d	271.00 c	94.09 b	165.00 cd	138.95 c	27.32 b	1294.62 c
Bbr × PU	17.17 b	281.20 b	93.98 b	178.33 bc	153.42 bc	30.17 ab	1182.29 d
Pli × PU + CO	18.90 a	299.40 a	101.85 ab	210.00 a	182.06 a	38.03 a	1527.60 a
Bbr × PU + CO	17.93 ab	296.40 a	122.79 a	206.66 a	180.55 a	35.49 ab	1322.88 bc
Pli × PU + CA	14.47 d	273.00 bc	93.05 b	143.33 d	146.84 bc	24.87 b	1340.19 bc
Bbr × PU + CA	16.61 bc	277.40 bc	98.61 b	196.66 ab	165.72 ab	29.61 ab	1274.40 cd
Testigo (PU - Sb)	15.23 cd	269.60 c	94.90 b	158.33 cd	153.72 bc	28.89 ab	1392.57 b
DSH	1.57	9.58	21.49	24.52	26.51	10.63	95.49
CV (%)	4.21	1.69	7.71	4.89	5.93	12.45	4.65

Medias con letras iguales dentro de la misma columna y dentro de cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). \*\*: significancia a  $P \leq 0.01$ , \*: significancia a  $P \leq 0.05$ , ns: no significativo, Pli: *P. lilacinum*, Bbr: *B. brongniartii*, PU: pumita, CO: compost, CA: cascarilla de arroz, Sb: sin biofertilizante, DT: diámetro de tallo, AP: altura de planta, AF: área foliar, VLR: volumen de raíz, BSA: biomasa seca aérea, BSR: biomasa seca de raíz, PF: producción de fruto, DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

**Efecto del biofertilizante en el tamaño de fruto**

El biofertilizante ejerció efecto en el diámetro ecuatorial y diámetro longitudinal de fruto, más no en el peso de fruto. Las plantas que se inocularon con *B. brongniartii* produjeron frutos con diámetro ecuatorial y diámetro longitudinal mayor en 3 y 2 %, respectivamente, en comparación con *P. lilacinum* (Cuadro 5). Jaber y Enkerli (2016) demostraron que *B. brongniartii* es capaz de colonizar endofíticamente las raíces y provocar alteraciones morfológicas y fisiológicas en la planta, ésto estimula la absorción, transporte y translocación nutrimental en frutos y favorece la síntesis de hormonas del crecimiento (auxinas, giberelinas y

citoquininas), lo cual hace posible el aumento en el tamaño de frutos de chile habanero. Ruiz-Cisneros *et al.* (2018), en plantas de tomate bola (*Solanum lycopersicum* L.), encontraron que el diámetro ecuatorial y diámetro polar de frutos incrementó en 6 y 4 % respectivamente, con aplicaciones de *Trichoderma asperellum* en relación con las plantas sin microorganismo; asimismo, Murillo-Cuevas *et al.* (2021) reportaron que el diámetro ecuatorial y longitud de frutos de chile habanero fue mayor con la inoculación con *Trichoderma* sp. que sin inóculo, lo cual atribuyeron a que este microorganismo aporta auxinas, en particular AIA. Respuestas similares se encontraron con *B. brongniartii* en esta investigación.

**Cuadro 4. Efecto del biofertilizante, sustrato y su respectiva interacción en la concentración de macronutrientos en hojas y lecturas SPAD de chile habanero Chichen Itzá en invernadero.**

Factor de variación	N	P	K	Lecturas SPAD	
	g kg <sup>-1</sup>			70 ddt	140 ddt
Biofertilizante (B)	ns	**	ns	ns	ns
Pli	23.49 a	0.85 a	71.43 a	57.55 a	58.15 a
Bbr	23.70 a	0.78 b	71.45 a	56.80 a	57.40 a
DSH	0.57	0.05	0.61	1.39	1.40
Sustrato (S)	**	ns	**	**	**
PU	23.35 b	0.81 a	70.58 b	57.88 b	58.48 b
PU + CO	24.35 a	0.80 a	72.08 a	60.00 a	60.60 a
PU + CA	23.08 b	0.83 a	70.25 b	53.65 c	54.25 c
DSH	0.86	0.08	0.92	2.09	2.09
Interacción B × S	ns	ns	ns	**	**
Pli × PU	22.73 b	0.86 a	71.92 ab	57.00 b	57.60 b
Bbr × PU	23.97 ab	0.76 a	72.04 ab	57.76 b	58.36 b
Pli × PU + CO	24.25 a	0.85 a	72.45 a	61.40 a	62.00 a
Bbr × PU + CO	24.45 a	0.75 a	71.71 abc	58.60 ab	59.20 ab
Pli × PU + CA	23.49 ab	0.84 a	69.92 c	52.00 c	52.60 c
Bbr × PU + CA	22.67 b	0.83 a	70.59 bc	55.30 bc	55.90 bc
Testigo (PU - Sb)	24.97 a	0.76 a	71.97 ab	56.96 b	57.56 b
DSH	1.49	0.13	1.81	3.56	3.57
CV (%)	2.25	6.04	0.91	2.24	2.22

Medias con letras iguales dentro de la misma columna y dentro de cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). \*\*: significancia a  $P \leq 0.01$ , ns: no significativo, Pli: *P. lilacinum*, Bbr: *B. brongniartii*, PU: pumita, CO: compost, CA: cascarilla de arroz, Sb: sin biofertilizante, DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

### Efecto del sustrato en el tamaño de fruto

El sustrato presentó efecto significativo en el diámetro ecuatorial, diámetro longitudinal y peso de fruto. En el sustrato pumita + compost las plantas presentaron frutos con mayor diámetro ecuatorial en 7 y 5 %, diámetro longitudinal en 5 y 3 %, y peso en 11 y 12 %, en comparación con las plantas que se cultivaron en pumita y pumita + cascarilla de arroz, respectivamente (Cuadro 5). Esta respuesta se debe al aporte de nutrientes por el compost, ácidos húmicos y hormonas, que influyó en el incremento del tamaño de fruto, de acuerdo con Cruz-Crespo *et al.* (2015). Los resultados guardan similitud con los que reportaron Martínez-Rodríguez *et al.* (2017), quienes demostraron que el diámetro ecuatorial de fruto de tomate bola fue 4 % mayor en la mezcla 80 % vermicompost de estiércol bovino + 20 % tezontle, en comparación con el sustrato tezontle; Cruz-Crespo *et al.* (2015) reportaron que

en las plantas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) se incrementó el diámetro longitudinal y peso de fruto en el sustrato tezontle + vermicompost de estiércol bovino (en proporción 60:40 v/v), con respecto a las plantas que se cultivaron en tezontle.

### Efecto de la interacción biofertilizante × sustrato en el tamaño de fruto

La interacción biofertilizante × sustrato causó efecto significativo en el diámetro longitudinal y peso de fruto. Con la interacción Bbr × PU + CO se incrementó el diámetro longitudinal en 7 %, con respecto al testigo. El peso de fruto fue 15 y 10 % mayor con las combinaciones Pli × PU + CO y Bbr × PU + CO respectivamente, en comparación con el testigo (Cuadro 5). Este resultado fue similar a lo que encontraron Espinosa *et al.* (2017), ya que reportaron que el diámetro polar y peso de fruto de tomate saladette fue

**Cuadro 5. Efecto del biofertilizante, sustrato y su respectiva interacción en el tamaño de fruto de chile habanero Chichen Itzá en invernadero.**

Factor de variación	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro longitudinal (mm)	Peso de fruto (g)
Biofertilizante (B)	**	*	ns
Pli	34.73 b	50.97 b	14.23 a
Bbr	35.64 a	51.91 a	14.14 a
DSH	0.54	0.82	0.31
Sustrato (S)	**	**	**
PU	34.21 b	50.37 b	13.72 b
PU + CO	36.66 a	52.84 a	15.35 a
PU + CA	34.68 b	51.12 b	13.49 b
DMS	0.80	1.20	0.46
Interacción B × S	ns	**	**
Pli × PU	33.84 c	49.69 c	13.49 c
Bbr × PU	34.58 bc	51.04 bc	13.94 c
Pli × PU + CO	35.88 b	51.44 bc	15.86 a
Bbr × PU + CO	37.43 a	54.24 a	14.84 b
Pli × PU + CA	34.48 c	51.79 b	13.34 c
Bbr × PU + CA	34.89 bc	50.46 bc	13.64 c
Testigo (PU - Sb)	34.59 bc	50.53 bc	13.41 c
DSH	1.38	2.09	0.80
CV (%)	5.93	6.13	7.66

Medias con letras iguales dentro de la misma columna y dentro de cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). \*\*: significancia a  $P \leq 0.01$ , \*: significancia a  $P \leq 0.05$ , ns: no significativo, Pli: *P. lilacinum*, Bbr: *B. brongniartii*, PU: pumita, CO: compost, CA: cascarilla de arroz, Sb: sin biofertilizante, DSH: diferencia significativa honesta, CV: coeficiente de variación.

superior con la inoculación de *Bacillus* sp. en combinación con el sustrato compost de estiércol bovino + arena de río + perlita en proporción 50:40:10 v/v/v, en comparación con las plantas en el sustrato arena de río sin inóculo; ésto lo atribuyeron a que el microorganismo aportó gran cantidad de auxinas, citocininas y giberelinas al incrementar su proliferación y desarrollo por la presencia de materia orgánica en el medio.

Por otra parte, de acuerdo con la norma para la comercialización de chile habanero en fresco NOM-189-SCFI-2017, los valores de longitud de fruto que se obtuvieron con los seis tratamientos y el testigo en la investigación se ubicaron en la categoría máxima (grande:  $\geq 40$  mm; Cuadro 5), lo cual se puede reflejar en un precio mayor de los frutos en los mercados nacionales o internacionales (Sousa *et al.*, 2015). De acuerdo con los resultados aquí obtenidos, se deduce que la mejora de las utilidades de los productores puede basarse tanto en el

tamaño del fruto como en el incremento de la producción de frutos por planta al utilizar la combinación Pli × PU + CO (Cuadros 3 y 5).

## CONCLUSIONES

El biofertilizante *Beauveria brongniartii* aumentó el crecimiento de planta, el diámetro ecuatorial y diámetro longitudinal de fruto; con *Purpureocillium lilacinum* se incrementó la concentración de P foliar y producción de fruto. Las plantas expresaron mayor producción de fruto, crecimiento de planta, lecturas SPAD, concentración de N y K foliar, y tamaño de fruto en el sustrato pumita + compost con respecto a pumita, y pumita + cascarilla de arroz. La interacción de *P. lilacinum* con el sustrato pumita + compost aumentó el crecimiento de planta, la producción y peso de fruto, en comparación con los demás tratamientos, por lo que esta combinación es la alternativa más viable para incrementar la producción de chile habanero Chichen Itzá,



entre los sustratos y biofertilizantes que se evaluaron en invernadero.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcántar G. G. y M. Sandoval V. (1999) Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Publicación Especial No. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Chapingo, México. 156 p.
- Baron N. C., A. S. Pollo and E. C. Rigobelo (2020) *Purpureocillium lilacinum* and *Metarhizium marquandii* as plant growth-promoting fungi. *PeerJ* 8:e9005, <https://doi.org/10.7717/peerj.9005>
- Canassa F., S. Tall, R. A. Moral, I. A. R. de Lara, I. Delalibera and N. V. Meyling (2019) Effects of bean seed treatment by the entomopathogenic fungi *Metarhizium robertsii* and *Beauveria bassiana* on plant growth, spider mite populations and behavior of predatory mites. *Biological Control* 132:199-208, <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.02.003>
- Chan-Cupul W., M. Juárez-González, E. Ruiz-Sánchez, J. C. Sánchez-Rangel, J. Molina-Ochoa y E. Galindo-Velasco (2018) Solubilización de fuentes inorgánicas de fósforo por micromicetos aislados de la rizosfera de papaya var. Maradol (*Carica papaya* L.) y su susceptibilidad a herbicidas convencionales. *Revista de Contaminación Ambiental* 34:281-295, <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.09>
- Cortés-Patiño S. L., N. P. Vesga-Ayala, A. K. Sigarroa-Rieche, L. Moreno-Rozo y D. Cárdenas-Caro (2015) Sustratos inoculados con microorganismos para el desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en etapa de vivero. *Bioagro* 27:151-158.
- Cruz-Crespo E., M. T. Sumaya-Martínez, A. Can-Chulim, J. Pineda-Pineda, R. Bugarín-Montoya and G. Aguilar-Benítez (2015) Quality, bioactive compounds, and antioxidant activity of serrano chili peppers cultivated in volcanic rock-vermicompost and nutrient solutions. *Ciencia e Investigación Agraria* 42:375-384, <https://doi.org/10.4067/S0718-16202015000300006>
- Espinosa P. B., A. Moreno R., P. Cano R., V. P. Álvarez R., J. Sáenz M., H. Sánchez G. y G. González R. (2017) Inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. afrodita en invernadero. *Terra Latinoamericana* 35:169-178, <https://doi.org/10.28940/terra.v35i2.194>
- Galeote-Cid G., P. Cano-Ríos, J. A. Ramírez-Ibarra, U. Nava-Camberos, J. L. Reyes-Carrillo y M. G. Cervantes-Vázquez (2022) Comportamiento del chile Huacle (*Capsicum annum* L.) con aplicación de compost y *Azospirillum* sp. en invernadero. *Terra Latinoamericana* 40:1-12, <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.828>
- Gamboa-Angulo J., E. Ruiz-Sánchez, C. Alvarado-López, F. Gutiérrez-Miceli, V. M. Ruiz-Valdiviezo y K. Medina-Dzul (2020) Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annum* L.). *Terra Latinoamericana* 38:817-826, <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>
- González R. G., B. Espinosa P., P. Cano R., A. Moreno R., L. Leos E., H. Sánchez G. y J. Sáenz M. (2018) Influencia de rizobacterias en la producción y calidad nutracéutica de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:367-379, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1078>
- Hernández-Leal T., D. López-Lima and G. Carrión (2016) Effect of the application of nematopagous fungus *Purpureocillium lilacinus* over nutrients availability on agricultural soil and yield of *Avena sativa*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO* 48:1-12.
- Jaber R. L. and J. Enkerli (2016) Fungal entomopathogens as endophytes: can they promote plant growth? *Biocontrol Science and Technology* 27:28-41, <https://doi.org/10.1080/09583157.2016.1243227>
- Jiménez-Mariña L., M. Fonseca-Arias, A. García-Alcántara, S. Infante-Fonseca and J. Vázquez-Rodríguez (2019) Effect of different concentrations of indole acetic acid (IAA) in the *in vitro* rooting of *Dahlia* sp. *Cultivos Tropicales* 40:a11-e11.
- Martínez-Rodríguez O. G., A. Can-Chulim, E. Cruz-Crespo y J. D. García-Paredes (2017) Influencia del riego y sustrato en el rendimiento y calidad de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:53-65, <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.71>
- Mendoza-Tafolla R. O., P. Juárez-López, R. E. Ontiveros-Capurata, M. Sandoval-Villa, I. Alía-Tejagal and G. Alejo-Santiago (2019) Estimating nitrogen and chlorophyll status of romaine lettuce using SPAD and at LEAF readings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47:751-756, <https://doi.org/10.15835/nbha47311525>
- Meneses-Fernández C. y G. Quesada-Roldán (2018) Crecimiento y rendimiento del pepino holandés en ambiente protegido y con sustratos orgánicos alternativos. *Agronomía Mesoamericana* 29:235-250, <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.28738>
- Moo-Huchin V. M., M. L. Vargas-Vargas, J. A. Tamayo-Cortez, D. A. López-Sauri, E. Sauri-Duch, A. Ortiz-Fernández, ... and D. Betancur-Ancona (2019) Solvent extraction and measurement of antioxidant activity and total phenolic content from *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero at different maturity stages. *Chiang Mai Journal of Science* 46:661-671.
- Moreno-Salazar R., I. Sánchez-García, W. Chan-Cupul, E. Ruiz-Sánchez, H. A. Hernández-Ortega, J. Pineda-Lucatero and D. Figueroa-Chávez (2019) Plant growth, foliar nutritional content and fruit yield of *Capsicum chinense* biofertilized with *Purpureocillium lilacinum* under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae* 261:108950, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108950>
- Murillo-Cuevas F. D., H. Cabrera-Mireles, J. Adame-García, A. Vázquez-Hernández, A. J. Martínez-García y R. Luria M. (2021) Bioestimulantes en la calidad de frutos de chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 12:1473-1481, <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2900>
- Negrete G. D., M. A. Avalos C., R. Lezama G., W. Chan C., J. Molina O. and E. Galindo V. (2018) Suitability of *Cordiceps bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for biological control of *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae) in an organic Mexican banana plantation: laboratory and field trials. *Journal of Plant Diseases and Protection* 125:73-81, <https://doi.org/10.1007/s41348-017-0126-4>
- Neutzling C., R. M. N. Peil, C. B. Signorini, P. R. Grolli y L. Perin (2018) Reutilización del sustrato cascarilla de arroz *in natura* tras el cultivo de tomate para la producción de híbridos de pepino de conserva (*Cucumis sativus* L.) en sistema de recirculación de lixiviado. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12:602-610, <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i3.7684>
- Pérez F. A. R., M. Ruiz M., M. O. Lobato C., E. Pérez V. y P. Rodríguez S. (2018) Sustrato biofísico para agricultura protegida y urbana a partir de compost y agregados provenientes de los residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 34:383-394, <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.02>
- Pérez-Velasco E. A., R. Mendoza-Villarreal, A. Sandoval-Rangel, M. Cabrera-de la Fuente, V. Robledo-Torres y L. A. Valdez-Aguilar (2019) Evaluación del uso de endomicorrizas y *Azospirillum* sp. en la productividad y calidad nutracéutica de chile morrón (*Capsicum annum*) en invernadero. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 115:18-30, <https://doi.org/10.12706/itea.2018.029>
- Pire R. y A. Pereira (2003) Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. Propuesta metodológica. *Bioagro* 15:55-63.
- Ramírez-Gómez H., M. Sandoval-Villa, J. Pineda-Pineda, G. Alcántar-González, A. Trinidad-Santos and P. Sánchez-García (2015) The effects of pumice characteristics on the yield and quality of tomatoes. *Wulfenia* 22:365-382.
- Ruiz-Cisneros M. F., J. J. Ornelas-Paz, G. I. Olivas-Orozco, C. H. Acosta-Muñiz, D. R. Sepúlveda-Ahumada, D. A. Pérez-Corral, ... y S. P. Fernández-Pavía (2018) Efecto de *Trichoderma* spp. y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36:444-456, <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1804-5>
- Salinas R., E. Sánchez, J. M. Ruiz, M. T. Lao y L. Romero (2012) Producción de biomasa y rendimiento en judía verde (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Strike en respuesta a la fertilización fosforada. *Phyton, International Journal of Experimental Botany* 81:35-39.
- Sarduy D. M., I. Díaz A., L. Castellanos G., R. Soto O. y Y. Pérez R. (2016) Sustratos y soluciones nutritivas para la obtención de plántulas de pimiento y su influencia en la producción en cultivos protegido. *Centro Agrícola* 43:42-48.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020) Anuario

- estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Febrero 2022).
- Sousa W. R. N., A. C. A. Lopes, R. de Carvalho, R. L. F. Gomes and A. P. Peron (2015)** Karyotypic characterization of *Capsicum* sp. accessions. *Acta Scientiarum Agronomy* 37:147-153, <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i2.19485>
- Steiner A. A. (1984)** The universal nutrient solution. Proceeding Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp:633-650.
- Tall S. and N. V. Meyling (2018)** Probiotics for plants? Growth promotion by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* depends on nutrient availability. *Microbial Ecology* 76:1002-1008, <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1180-6>
- Toscano-Verduzco F. A., P. A. Cedeño-Valdivia, W. Chan-Cupul, H. A. Hernández-Ortega, E. Ruiz-Sánchez, E. Galindo-Velasco and E. Cruz-Crespo (2019)** Phosphates solubilization, indol-3-acetic acid and siderophores production by *Beauveria brongniartii* and its effect on growth and fruit quality of *Capsicum chinense*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 95:235-246, <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1662737>
- Viera W., M. Noboa, J. Bermeo, F. Báez y T. Jackson (2018)** Parámetros de calidad de cuatro tipos de formulaciones a base de *Trichoderma asperellum* y *Purpuricillium lilacinum*. *Enfoque UTE* 9:145-153, <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.348>