

# Producción de plántulas de chile habanero con fertilización orgánica y biológica

## Production of habanero pepper seedlings with organic and biological fertilization

Jonás Alan Luna-Fletes<sup>1</sup>, Elia Cruz-Crespo<sup>2‡</sup>, Álvaro Can-Chulim<sup>3‡</sup>,  
Wilberth Chan-Cupul<sup>4</sup>, Gregorio Luna-Esquivel<sup>5</sup>,  
Juan Diego García-Paredes<sup>6</sup> y Oscar Raúl Mancilla-Villa<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias. <sup>2,3,5,6</sup> Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9. 63780 Xalisco, Nayarit, México.

<sup>‡</sup> Autores para correspondencias (ccruzc2006@yahoo.com.mx, canchulim@yahoo.com.mx)

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Colima, Autopista Colima-Manzanillo km 40. 28934 Tecoman, Colima, México.

<sup>7</sup> Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Guadalajara. Av. Independencia 151. 48900 Autlán, Jalisco, México.

### RESUMEN

En los sistemas de cultivo se busca sustituir la fertilización química; por esto, se propone la alternativa de combinar a la composta con los fertilizantes orgánicos líquidos y biofertilizantes, para la obtención de plántulas de chile habanero de calidad. El objetivo de la investigación fue evaluar dos fertilizantes orgánicos líquidos en combinación con *Purpureocillium lilacinum* y *Beauveria brongniartii* en el crecimiento, concentración nutrimental y calidad de plántulas de chile habanero sobre el sustrato peat moss/composta, con el fin de sustituir la fertilización química. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo bifactorial, los factores fueron los fertilizantes orgánicos líquidos (lixiviado de vermicomposta y el producto comercial Pez Terra<sup>®</sup>, que se diluyeron en agua en una relación 1:200), y los biofertilizantes (*B. brongniartii* y *P. lilacinum*), también se evaluó un testigo (solución nutritiva de Steiner al 25%). Se encontró que las plántulas que se trataron con el producto comercial incrementaron su crecimiento, unidades SPAD, concentración de N, P y K, y la calidad; con la inoculación de *P. lilacinum* aumentó la altura de plántula, diámetro de tallo, área foliar, concentración de N e índice de esbeltez, con respecto a *B. brongniartii*. La interacción del fertilizante comercial y *P. lilacinum*, más el uso del sustrato peat moss/composta 1:1 (v/v), incrementaron la altura de

plántula en 10%, área foliar en 35%, concentración de N en 57% y P en 35%, e índice de esbeltez en 8% en comparación con las plántulas que se produjeron con la solución nutritiva de Steiner al 25% y peat moss, por lo que esta combinación se consideró viable para la producción de plántulas de chile habanero y sustituir la fertilización química.

**Palabras clave:** *Beauveria brongniartii*, calidad de plántula, composta, *Purpureocillium lilacinum*.

### SUMMARY

Chemical fertilization needs to be replaced in cultivation systems. Thus, this study proposes the alternative of combining compost with liquid organic fertilizers and biofertilizers to obtain habanero pepper seedling quality. The objective is to evaluate two liquid organic fertilizers in combination with *Purpureocillium lilacinum* and *Beauveria brongniartii* in growth, nutritional concentration and quality of habanero pepper seedlings grown in peat moss/compost substrate to substitute chemistry fertilization. A completely randomized experimental design was used with a bifactorial arrangement: (1) liquid organic fertilizers (vermicompost leachate and the commercial product Pez Terra<sup>®</sup>, diluted in water in a 1:200 ratio); (2) biofertilizers (*B. brongniartii* and *P. lilacinum*) and a control (25% Steiner's nutrient solution) group

#### Cita recomendada:

Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, Á., Chan-Cupul, W., Luna-Esquivel, G., García-Paredes, J. D. y Mancilla-Villa, O. R. (2021). Producción de plántulas de chile habanero con fertilización orgánica y biológica. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-13. e988. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.988>

Recibido: 19 de mayo de 2021. Aceptado: 19 de octubre de 2021.  
Artículo. Volumen 39, noviembre de 2021.

were also evaluated. The seedlings treated with the commercial product increased their growth, Soil Plant Analysis Development (SPAD) units, N, P and K concentrations, and quality with *P. lilacinum* inoculation; seedling height, stem diameter, leaf area, N concentration and slenderness index increased, with respect to *B. brongniartii*. The interaction of the commercial fertilizer and *P. lilacinum*, and use of peat moss/compost substrate 1:1 (v/v) increased seedling height by 10%, leaf area by 35%, N and P concentrations by 57% and 35%, respectively, and slenderness index by 8% compared to the seedlings that were produced with Steiner's 25% nutrient solution and peat moss. Therefore, this combination was considered viable for the production of habanero pepper seedlings and may substitute chemistry fertilization.

**Index words:** *Beauveria brongniartii*, seedling quality, compost, *Purpureocillium lilacinum*.

## INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) tiene importancia comercial y económica por su consumo en fresco y procesado. Debido al contenido de capsaicina elevado, sustancia que se emplea en la industria química y farmacéutica (Tamayo-Manrique, Martínez y Monforte, 2014). En el año 2020, México produjo 21 176 toneladas (Mg) de chile habanero, del cual 67% se obtuvo de Sinaloa, Tabasco, Yucatán y Campeche (SIAP, 2020).

La producción de plántulas en almácigos es una práctica común de los productores para garantizar el rendimiento máximo del cultivo, ya que el porcentaje de germinación es mayor, y mejora la adaptación al campo y el tiempo de cosecha (Fonseca-Reis de Mello, Vieira y Steiner, 2016). No obstante, uno de los factores que más afectan la producción y calidad de estas es la nutrición (Cabanzo-Atilano, Rodríguez, García, Almaraz y Gutiérrez, 2020). En la fertilización convencional se utilizan productos químicos de importación (principalmente los nitrogenados), lo que incrementa su precio y repercute en los costos del sistema. Además, el uso constante y excesivo de este tipo de fertilizantes genera contaminación al medio ambiente (Alatorre-Rosas *et al.*, 2015). Por esto, se deben buscar alternativas para sustituir la fertilización química. Una opción para tal fin es el uso de compostas como sustrato (Gómez-Merino, Trejo y Ladewig, 2014)

y fertilizantes orgánicos líquidos de vermicomposta (Moncayo-Luján, Álvarez, González, Salas y Chávez, 2015). Las compostas y lixiviados de vermicomposta se caracterizan por su contenido nutrimental alto, y aporte de reguladores de crecimiento, ácidos húmicos y fúlvicos, y microorganismos benéficos, los cuales contribuyen en la sustitución del uso de fertilizantes químicos en la producción de plántulas (Gómez-Merino, Trejo, García y Morales, 2013; Preciado-Rangel *et al.*, 2014). Sin embargo, los resultados varían de acuerdo con el abono orgánico que se utilice y la especie, y en otros casos se tienen reportes contradictorios. Un aspecto para considerar es que el uso de las compostas en almácigos dificulta el crecimiento de las plántulas por lo que diversos autores recomiendan mezclar estas con otro sustrato (Gómez-Merino *et al.*, 2013). Caballero-Salinas, Ovando, Núñez y Aguilar (2020) encontraron en plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.), mayor altura, diámetro de tallo y peso seco en el sustrato peat moss más fertilizante químico, con respecto a la composta de estiércol bovino; Gómez-Merino *et al.* (2014) reportaron que las plántulas de lulo (*Solanum quitoense* L.) incrementaron su área foliar y peso seco en la mezcla (40% peat moss + 60% composta) en comparación con el mismo sustrato en proporción 20/80, donde esta fue suficiente para sustituir la fertilización química; Preciado-Rangel *et al.* (2014) reportaron que la altura y peso fresco de plántulas de maíz forrajero (*Zea mays* L.) fue igual al aplicar lixiviado de vermicomposta de estiércol bovino en relación con la solución nutritiva química, por lo cual el abono orgánico fue una alternativa para sustituir el uso de fertilizantes químicos. Liriano-González, Terán, Núñez, Ibáñez y Pérez (2017) encontraron que el diámetro de tallo, número de hojas y biomasa seca de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) fue superior al fertilizar con solución química, en comparación con el lixiviado de vermicomposta.

Otra fuente orgánica para suministrar nutrimentos son los productos que se derivan del pescado (San Martins-Sanes, Strassburger, Batista y Barbosa, 2015); no obstante, las investigaciones al respecto son escasas. Con relación a esto, Monares-Gallardo, Ceja, Escalera, Vázquez y Ochoa (2012) reportaron que el número de hojas y peso fresco de planta de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) fue mayor con la aplicación de harina de pescado más urea (en proporción 50/50) en comparación con la fertilización química completa (100% urea), mientras que los rendimientos fueron

iguales; por lo tanto, el uso de fertilizantes nitrogenados se redujo en 50%.

Los fertilizantes biológicos o biofertilizantes son una alternativa sustentable para incrementar el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Alatorre-Rosas *et al.*, 2015). Actualmente, una de las especies que más se utiliza y estudia por su habilidad nematófaga y solubilizadora es *Purpureocillium lilacinum*. Este solubiliza  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  y  $\text{FePO}_4$ , y produce sideróforos y ácido indol-3-acético, y promueve la absorción nutrimental como se observó durante el crecimiento de chile habanero (Moreno-Salazar *et al.*, 2019), maíz (*Zea mays*), soja (*Glycine max* L.) (Baron, Souza y Rigobelo, 2020) y zanahoria (*Daucus carota* L.) (Nesha y Siddiqui, 2017). *Beauveria brongniartii* parasita insectos plaga (Rojas-Gutiérrez, Loza, Vino y Serrano, 2017), solubiliza fuentes inorgánicas de P ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  y  $\text{FePO}_4$ ), produce sideróforos y auxinas en gran cantidad, además, estimula la absorción de N y el crecimiento de plantas de chile habanero (Toscano-Verduzco *et al.*, 2019). Por su parte, Jaber y Henkerli (2016) en haba (*Vicia faba*), reportaron que *B. brongniartii* colonizó endofíticamente las plantas e incrementó su altura, número de hojas y biomasa fresca de raíz en comparación con *B. bassiana*.

Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de dos fertilizantes orgánicos líquidos (lixiviado de vermicomposta y Pez Terra®) en combinación con *P. lilacinum* y *B. brongniartii* en el crecimiento, concentración nutrimental y calidad de plántulas de chile habanero sobre el sustrato peat moss/composta, con el fin de sustituir la fertilización química.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en un invernadero tipo cenital 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 humedad relativa promedio fue de 31%, la temperatura promedio fue mínima de 12 °C y máxima de 41 °C, y radiación fotosintéticamente activa promedio de 329  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

### Tratamientos y Diseño Experimental

Se usó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 × 2, el primer factor lo constituyeron dos fertilizantes orgánicos líquidos,

lixiviado de vermicomposta (LV) y el fertilizante comercial Pez Terra® (PT), los cuales se diluyeron en agua en una relación 1:200, y el segundo factor consistió en los biofertilizantes *B. brongniartii* y *P. lilacinum*. Estos se aplicaron en plántulas que se cultivaron en el sustrato peat moss/composta; también, se aplicó la solución nutritiva de Steiner (1984) al 25% con peat moss como sustrato (testigo), lo que generó cinco tratamientos, cada uno con 10 repeticiones. La unidad experimental fueron 20 plántulas.

### Establecimiento y Manejo del Experimento

Se sembró semilla de chile habanero 'Chichen Itzá' (Seminis®) en charolas de poliestireno de 200 cavidades, con un volumen de 30 mL por cavidad, que se llenaron con el sustrato peat moss (Sunshine mezcla 3®) o con la mezcla peat moss + composta de bagazo de caña (Terrasana®, Nayarit, México) en proporción 1:1 (v/v). La composición nutrimental de la composta se muestra en Cuadro 1.

Las charolas se regaron con agua potable hasta la germinación de las semillas (10 días después de la siembra). Después, el riego fue con la solución nutritiva de Steiner al 25%, o lixiviado de vermicomposta, o Pez Terra®, según el tratamiento. Se aplicó uno a dos riegos al día en función del crecimiento de las plántulas, cada uno de 600 mL/charola. La solución de Steiner al 25% contuvo ( $\text{meq L}^{-1}$ ): 1  $\text{Mg}^{2+}$ , 2.25  $\text{Ca}^{2+}$ , 1.75  $\text{K}^+$ , 3  $\text{NO}_3^-$ , 0.25  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y 1.75  $\text{SO}_4^{2-}$ , con conductividad eléctrica (CE) de 0.60  $\text{dS m}^{-1}$  y pH de 5.8; con el producto comercial Ultrasol micro® se suministró ( $\text{mg L}^{-1}$ ): 3 de Fe-EDTA, 0.16 de B, 1.48 de Mn-EDTA, 0.12 de Cu-EDTA, 0.08 de Mo y 0.24 de Zn-EDTA. Las diluciones de lixiviado de vermicomposta y Pez Terra® presentaron CE de 0.48 y 0.74  $\text{dS m}^{-1}$ , y pH de 6.2 y 5.5, respectivamente. El lixiviado de vermicomposta lo proporcionaron productores locales, y este se elaboró con desechos de origen vegetal (hojarasca, frutas y verduras) y animal (cáscaras de huevo y estiércol bovino). La composición nutrimental de los fertilizantes orgánicos líquidos se muestra en el Cuadro 1.

Los biofertilizantes se aplicaron una vez por semana, hasta que las plántulas alcanzaron 13 cm de altura para trasplante (45 días después de la siembra), en cada aplicación se usaron 200 mL de suspensión de esporas por charola. Para esto, se preparó una dosis de 2 g de producto sólido de esporas de *B. brongniartii* o *P. lilacinum*  $\text{L}^{-1}$  de agua ( $1 \times 10^6$  esporas  $\text{mL}^{-1}$ ).

**Cuadro 1. Composición nutrimental de los fertilizantes orgánicos líquidos y la composta utilizados en la producción de plántula de chile habanero ‘Chichen Itzá’.**

**Table 1. Nutritional composition of liquid organic fertilizers and compost used in the production of ‘Chichen Itzá’ habanero pepper seedling.**

Fertilizantes	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Cl	Zn	Mn	B
	----- mg L <sup>-1</sup> -----											
LV	100.30	20.50	362.70	174	78	534.50	38	20	5.50	-	-	-
PT	3410	420	1280	363	210	1050	270	160	0.99	30	4	-
	----- g kg <sup>-1</sup> -----											
COM	700	1240	250	570	120	140	60	60	7.6	0.06	0.52	0.01

LV = lixiviado de vermicomposta; PT = Pez Terra<sup>®</sup>; COM = composta (Terrasana<sup>®</sup>).

LV = vermicompost leachate; PT = Pez Terra<sup>®</sup>; COM = compost (Terrasana<sup>®</sup>).

Ambos biofertilizantes se obtuvieron de la colección de hongos entomopatógenos de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Colima, estos se aislaron e identificaron molecularmente por Chan-Cupul *et al.* (2018). Para la producción de esporas se colocaron granos de arroz (200 g) en bolsas de polipropileno (2 kg), las cuales se esterilizaron en autoclave a 120 °C por 30 min. Después, se inocularon con 1 mL de suspensión de esporas ( $1 \times 10^7$  esporas mL<sup>-1</sup>) de *B. brongniartii* o *P. lilacinum*, e incubaron durante 21 días a 25 °C, 80% humedad relativa y 12 h luz/oscuridad. Posteriormente, estas se lavaron con agua purificada y Tween 80 al 0.05%. El líquido que se consiguió de las bolsas se centrifugó (36 000 rpm) para obtener las esporas, esto de acuerdo con la metodología de Negrete-González *et al.* (2018).

### Variables de Crecimiento de Plántula, Lecturas SPAD y Concentración Nutrimental

Altura de plántula (AP, cm), se midió con una regla, desde la base del sustrato hasta la yema apical; diámetro de tallo (DT, mm), se obtuvo 2 cm arriba del nivel del sustrato con un vernier digital Trupper<sup>®</sup> modelo CALDI-6MP (Estado de México, México); número de hojas (NH, unidades), se contabilizó el número de hojas por plántula; área foliar (AF, cm<sup>2</sup>), las hojas por plántula se midieron en el integrador de área foliar LI-COR, Li-3100<sup>®</sup> (Nebraska, EUA); biomasa seca aérea (BSA, g), se cortó la plántula desde la base del tallo y se secó a 60 °C durante 72 h en una estufa Felisa FE-294<sup>®</sup> (Jalisco, México), después se pesaron en una balanza A&D GX-2000<sup>®</sup> (California, EUA);

biomasa seca de raíz (BSR, g), se separó el sustrato de las raíces y estas se secaron a 60 °C durante 72 h en una estufa Felisa FE-294<sup>®</sup> (Jalisco, México), después se pesaron en una balanza A&D GX-2000<sup>®</sup> (California, EUA); volumen de raíz (VLR, mL), se midió por el desplazamiento de agua con una probeta graduada; lecturas SPAD (unidades) se midieron en hojas con un equipo Minolta SPAD 502 plus<sup>®</sup> (Tokio, Japón). Todas las variables se evaluaron a los 45 días después de la siembra (dds). Concentración nutrimental en el tejido, las muestras de BSA se molieron con un mortero, posteriormente se sometieron a digestión húmeda, y el extracto que se obtuvo se aforó a 50 mL con agua destilada. La determinación de N total (g kg<sup>-1</sup>) se realizó por el método micro Kjeldahl, el P (g kg<sup>-1</sup>) se midió con el método de amarillo vanadato-molibdato mediante el espectrofotómetro Labomed Inc. Modelo Spectro 23-RS<sup>®</sup> (California, EUA), y el K (g kg<sup>-1</sup>) se determinó en el flamómetro Cole-Parmer modelo 360<sup>®</sup> (Illinois, EUA), esto de acuerdo con lo descrito por Alcántar-González y Sandoval-Villa (1999).

### Variables de Calidad de Plántula

Se calcularon los índices de calidad de plántula a 45 d, tal como la relación biomasa seca aérea-raíz (RBSA-BSR), se dividió el peso seco aéreo (g) entre peso seco de raíz (g); índice de esbeltez (IE) se obtuvo al dividir la altura de plántula (cm) y diámetro del tallo (mm); índice de calidad de Dickson (ICD), se determinó mediante la fórmula:  $ICD = \text{peso seco total de plántula (g)} / (\text{IE} + \text{RBSA BSR}^{-1})$  (Dickson, Leaf y Hosner, 1960).

## Análisis de Datos

A los datos de las variables se les aplicó el análisis de varianza, la prueba de comparación de medias por Tukey ( $P \leq 0.05$ ) y el análisis de correlación de Pearson con el paquete estadístico SAS versión 9.0 para Windows®.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento de Plántula

**Factor fertilizante orgánico líquido.** El fertilizante orgánico líquido tuvo efecto significativo en siete variables del crecimiento. Las plántulas que se regaron con el fertilizante Pez Terra® (PT) obtuvieron valores mayores en la AP 35%, DT 6%, NH 20%, AF 52%, BSA 29%, BSR 33% y VLR 16%, en relación con el lixiviado de vermicomposta (LV) (Cuadro 2). Esto se atribuyó a que el fertilizante Pez Terra® suministró una cantidad superior de N ( $3410 \text{ mg L}^{-1}$ ) y P ( $420 \text{ mg L}^{-1}$ ) en

comparación con el lixiviado de vermicomposta ( $100.30$  y  $20.50 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Cuadro 1). El N y P son determinantes en el crecimiento por su participación en la actividad fotosintética y transferencia de energía en los procesos metabólicos de biosíntesis y degradación (Gorbe y Calatayud, 2010). Estos resultados fueron similares a los que obtuvieron Torres-García *et al.* (2019), quienes encontraron en planta de pimiento (*Capsicum annuum* L.) que el número de hojas y altura fue mayor al fertilizar con lixiviado de vermicomposta de estiércol caprino, con respecto al lixiviado de vermicomposta de estiércol bovino, lo que se atribuyó a la mayor carga de nutrientes en el estiércol de cabra. En los estudios de Calero-Hurtado *et al.* (2020) y Chinga, Torres, Chirinos y Marmol (2020) reportaron el efecto positivo en el crecimiento de las plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y algodón (*Gossypium hirsutum*) al aplicar diferentes lixiviados de vermicomposta de desechos vegetales y estiércol bovino puros o en dilución en suelo. En la investigación fue destacable el incremento del crecimiento de las plántulas de chile

**Cuadro 2. Variables del crecimiento de plántulas de chile habanero ‘Chichen Itzá’ en sustrato peat moss/composta, con fertilizantes orgánicos líquidos y biofertilizantes.**

**Table 2. Growth variables of ‘Chichen Itzá’ habanero pepper seedlings in peat moss/compost substrate, with liquid organic fertilizers and biofertilizers.**

Factor de variación	AP	DT	NH	AF	BSA	BSR	VLR
	cm	mm	unidades	cm <sup>2</sup>	- - - - mg	- - - -	mL
Fertilizante orgánico líquido (FOL)	**	**	**	**	**	**	**
LV	7.65 b	2.72 b	9.85 b	1.68 b	238.95 b	78.94 b	0.78 b
PT	11.78 a	2.88 a	12.30 a	3.52 a	335.81 a	118.68 a	0.93 a
Biofertilizante (B)	**	*	**	**	ns	ns	ns
<i>Beauveria brongniartii</i>	8.85 b	2.79 b	11.65 a	2.30 b	292.76 a†	93.03 a	0.87 a
<i>Purpureocillium lilacinum</i>	10.58 a	2.81 a	10.50 b	2.90 a	282.01 a	104.58 a	0.84 a
Interacción (FOL × B)	**	**	**	**	*	*	ns
LV × <i>B. brongniartii</i>	7.06 e	2.68 b	11.00 b	1.65 c	258.52 b	76.83 d	0.80 b
PT × <i>B. brongniartii</i>	10.65 c	2.89 a	12.30 b	2.95 b	326.99 a	109.24 bc	0.94 a
LV × <i>P. lilacinum</i>	8.24 d	2.75 ab	8.70 c	1.71 c	219.39 b	81.05 cd	0.75 b
PT × <i>P. lilacinum</i>	12.92 a	2.87 a	12.30 b	4.08 a	344.63 a	128.12 ab	0.94 a
Testigo (Steiner al 25% y peat moss)	11.68 b	2.82 a	13.70 a	2.66 b	362.76 a	153.87 a	0.94 a

† Medias con misma letra dentro de la misma columna y dentro de cada factor son significativamente iguales, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = significancia estadística a  $P \leq 0.01$ ; \* = significancia estadística a  $P \leq 0.05$ ; AP = altura de plántula; DT = diámetro de tallo; NH = número de hojas; AF = aérea foliar; BSA = biomasa seca aérea; BSR = biomasa seca de raíz; VLR = volumen de raíz; LV = lixiviado de vermicomposta; PT = Pez Terra®.

† Means with the same letter within the same column and within each factor are significantly the same, according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = statistical significance at  $P \leq 0.01$ ; \* = statistical significance at  $P \leq 0.05$ ; AP = seedling height; DT = stem diameter; NH = number of leaves; AF = aerial foliage; BSA = aerial dry biomass; BSR = dry root biomass; VLR = root volume; LV = vermicompost leachate; PT = Pez Terra®.

habanero con el fertilizante PT en comparación con el LV. Con referencia a los fertilizantes derivados del pescado, San Martins-Sanes *et al.* (2015) mencionan que estos estimulan el desarrollo de las plantas, por el suministro de nutrimentos alto, y también por el aporte de aminoácidos como glicina, alanina, leucina y ácido glutámico. De acuerdo con Batista-Sánchez *et al.* (2015) las plantas que reciben aminoácidos biológicamente activos pueden incrementar la síntesis de proteínas y metabolitos orgánicos, lo que promueve su acumulación de biomasa, crecimiento y desarrollo. Castillo *et al.* (2011) señalan que el ácido glutámico y la glicina favorecen el crecimiento vegetal en general, porque son moléculas primordiales en la formación de tejidos y división celular. Santana-Baños *et al.* (2016) en plántulas de tomate, reportaron que la germinación, diámetro de tallo y biomasa seca fue superior con aplicaciones de FitoMas-E® (producto a base de aminoácidos), con respecto a las plántulas sin tratar.

**Factor biofertilizante.** El biofertilizante presentó efecto significativo en la AP, NH, AF y DT. Las plántulas que se inocularon con *P. lilacinum* incrementaron la AP 16%, DT 2% y AF 21% en comparación con *B. brongniartii*; sin embargo, con *B. brongniartii* el NH fue 10% mayor (Cuadro 2). Esto se debió a que *P. lilacinum* incrementa la disponibilidad de P, y produce ácido indol-3-acético (AIA) (Hernández-Leal, López, y Carrión, 2017; Baron *et al.*, 2020). El AIA es la auxina que se encarga del desarrollo de brotes y raíces, la división celular y la diferenciación de los tejidos (Jaroszuk-Ścisel, Kurek y Trytek, 2014). Además, esta hormona actúa como señal para que interactúen las plantas y los microorganismos, ya que la síntesis de AIA aumenta el tamaño de las raíces lo que favorece la colonización microbiana, esto contribuye en el desarrollo de las plantas (Nieto-Jacobo *et al.*, 2017). Los resultados de la investigación guardan similitud con los estudios de Moreno-Salazar *et al.* (2019) en las plantas de chile habanero las cuales incrementaron su altura 13% con la inoculación de *P. lilacinum*, con relación con plantas sin inóculo. Sosa-Pech, Ruiz, Tun, Pinzón y Reyes (2019) en plántulas de chile habanero observaron que la altura y área foliar fue superior con aplicaciones de *Bacillus* sp., en comparación con plántulas sin biofertilizante. López y Sword (2015) en plantas de algodón encontraron que la biomasa seca fue mayor con *P. lilacinum*, con respecto a *B. bassiana*.

**Interacción fertilizante orgánico líquido × biofertilizante.** La interacción fertilizante orgánico

líquido × biofertilizante fue significativa en la AP, DT, NH, AF, BSA y BSR. La AP fue mayor 10% con PT × *P. lilacinum* con respecto al testigo; el DT incrementó PT × *B. brongniartii* (2.89 mm), PT × *P. lilacinum* (2.87 mm) y LV × *P. lilacinum* (2.75 mm) en comparación con LV × *B. brongniartii* (2.68 mm), pero fueron iguales al testigo (2.82 mm). Las plántulas testigo presentaron mayor NH (13.70 hojas) en comparación con el resto de las combinaciones, en cambio con la interacción PT × *P. lilacinum* expresaron AF mayor 35%; para ambas variables los valores menores se obtuvieron con las combinaciones LV × *B. brongniartii* y LV × *P. lilacinum*. Con las interacciones PT × *B. brongniartii*, y PT × *P. lilacinum* se obtuvieron valores de BSA de 326.99 mg y 344.63 mg, valores iguales al testigo (362.76 mg). No obstante, la combinación PT × *P. lilacinum* presentó una BSR de 153.87 mg, valor igual al testigo (128.12 mg) (Cuadro 2). De acuerdo con lo anterior, las plántulas que se trataron con el fertilizante PT y *P. lilacinum*, y se cultivaron en el sustrato peat moss/composta obtuvieron crecimiento similar a las que se produjeron con la solución de Steiner al 25% y peat moss, lo que muestra que este tratamiento fue suficiente para producción de las plántulas de chile habanero y sustituir en su totalidad el uso de fertilizantes químicos. Estos resultados fueron similares a los que obtuvieron Shamsavani, Abaspour, Parsaeian y Unesi (2017) en frijol caupí (*Vigna sinensis* L.) y Gamboa-Angulo *et al.* (2020) en chile xcat'ik (*Capsicum annum* L.), porque señalaron que con aplicaciones de fertilizante sólido de derivados de pescado y composta, en combinación con *Pseudomonas* sp. y *B. subtilis*, respectivamente, se puede sustituir la fertilización química, ya que estas combinaciones incrementaron o igualaron el crecimiento de las plantas, en comparación con el testigo químico. Esto lo atribuyeron al suministro de nutrientes por los abonos orgánicos, y al aporte de aminoácidos, auxinas, giberelinas, y ácidos húmicos y fúlvicos, también a que los microorganismos mejoran la disponibilidad de macro y micronutrientes, promueven el crecimiento vegetal, y proveen tolerancia a estrés hídrico y salino.

### Lecturas SPAD y Concentración Nutricional

**Factor fertilizante orgánico líquido.** El fertilizante orgánico líquido presentó efecto significativo en la concentración nutrimental y lecturas SPAD. Las plántulas que se trataron con el fertilizante PT

presentaron concentración mayor de N, P, K y lecturas SPAD en 65, 24, 13 y 35% respectivamente, en comparación con el LV (Cuadro 3). La concentración nutrimental menor en el fertilizante LV no favoreció el suministro de nutrientes durante el crecimiento de las plántulas de chile habanero (Gorbe y Calatayud, 2010), caso contrario con el PT, con el cual la concentración de nutrimentos para las plantas fue mayor lo que pudo beneficiar en la mayor absorción y translocación de estos. Lo anterior, explica las correlaciones positivas que se encontraron entre la concentración de N y la AP ( $r = 0.72^{**}$ ), DT ( $r = 0.53^*$ ), AF ( $r = 0.83^{**}$ ) y BSA ( $r = 0.60^*$ ), y de K con la AP ( $r = 0.84^{**}$ ), AF ( $r = 0.81^{**}$ ) y BSA ( $r = 0.76^{**}$ ).

Se tienen investigaciones sobre concentraciones nutrimentales en planta por el uso de lixiviado de vermicomposta y otros fertilizantes orgánicos, tal como Durukan, Demirbas y Tutar (2019) en tomate donde la concentración de N, P y K foliar incrementó en 17, 15 y 36% respectivamente, al utilizar vermicomposta sólida de estiércol bovino, en contraste con el lixiviado de vermicomposta. Preciado-Rangel *et al.* (2011), encontraron que la concentración de N en hojas de

tomate fue superior 5% al aplicar té de composta de estiércol bovino, en comparación con el lixiviado de vermicomposta, lo que atribuyeron al aporte de N mayor en el té de composta, esto fue similar a lo que se observó en la presente investigación.

Respecto a las lecturas SPAD, Lin *et al.* (2010) mencionan que estas se relacionan con el contenido de clorofilas y N en hojas, esto se confirma con la correlación positiva que se encontró entre lecturas SPAD y la concentración de N ( $r = 0.92^{**}$ ), y a su vez explica el aumento en el crecimiento de plántula al emplear el fertilizante PT. Cedeño-Guerra, Héctor, Torres y Fosado (2020) reportaron para plantas de pimiento entre 55 unidades SPAD y 57 unidades SPAD con aplicaciones de lixiviado de vermicomposta de estiércol bovino, al compararlas con los resultados de la investigación se obtuvieron valores menores hasta en 35% con el LV, y similares con el fertilizante PT.

**Factor biofertilizante.** El biofertilizante tuvo efecto significativo en la concentración de N y P, pero no en el K y lecturas SPAD. La concentración de N en tejido foliar fue 10% mayor con *P. lilacinum*, en comparación con *B. brongniartii*; sin embargo, con *B. brongniartii*

**Cuadro 3. Lecturas SPAD y concentración nutrimental de plántulas de chile habanero ‘Chichen Itzá’ en sustrato peat moss/composta, con fertilizantes orgánicos líquidos y biofertilizantes.**

**Table 3. Soil Plant Analysis Development (SPAD) readings and nutrient concentration of ‘Chichen Itzá’ habanero pepper seedlings in peat moss/compost substrate, with liquid organic fertilizers and biofertilizers.**

Factor de variación	N	P	K	Lecturas SPAD
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			Unidades
Fertilizante orgánico líquido (FOL)	**	**	**	**
LV	9.27 b	1.62 b	53.18 b	36.81 b
PT	26.80 a	2.14 a	61.25 a	56.92 a
Biofertilizante (B)	*	*	ns	ns
<i>Beauveria brongniartii</i>	17.06 b	2.04 a	55.97 a †	46.82 a
<i>Purpureocillium lilacinum</i>	19.01 a	1.72 b	58.46 a	46.91 a
Interacción (FOL × B)	*	*	ns	ns
LV × <i>B. brongniartii</i>	8.87 d	1.85 ab	52.39 c	36.56 c
PT × <i>B. brongniartii</i>	25.26 b	2.23 a	59.56 a	57.09 a
LV × <i>P. lilacinum</i>	9.68 cd	1.39 b	53.98 bc	37.07 c
PT × <i>P. lilacinum</i>	28.35 a	2.05 a	52.95 a	56.75 a
Testigo (Steiner al 25% y peat moss)	12.31 c	1.33 b	58.36 ab	46.78 b

† Medias con misma letra dentro de la misma columna y dentro de cada factor son significativamente iguales, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = significancia estadística a  $P \leq 0.01$ ; \* = significancia estadística a  $P \leq 0.05$ ; ns = no significativo; LV = lixiviado de vermicomposta; PT = Pez Terra®.

† Means with the same letter within the same column and within each factor are significantly the same, according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = statistical significance at  $P \leq 0.01$ ; \* = statistical significance at  $P \leq 0.05$ ; ns = not significant; LV = vermicompost leachate; PT = Pez Terra®.

se incrementó la concentración de P 16% (Cuadro 3). Jiménez, Ramírez, Petit, Colcenaes y Parra (2017) en plantas de chile tabasco (*Capsicum frutescens*) demostraron que la cantidad de clorofila y N foliar aumentó con la inoculación de *Funneliformis mosseae*, con respecto a las plantas sin inoculo, esto fue similar a lo que se encontró con *P. lilacinum* en la investigación. En cambio, Hernández-Leal *et al.* (2017) en plantas de avena (*Avena sativa*) reportaron que la concentración de N fue igual al aplicar *P. lilacinum* en relación con el testigo sin biofertilizante.

El aumento de la concentración de P con *B. brongniartii*, se debe a su capacidad mayor para solubilizar P. En estudios de laboratorio, Toscano-Verduzco *et al.* (2019) reportaron que *B. brongniartii*, solubilizó 198.65 mg L<sup>-1</sup>, mientras que Moreno-Salazar *et al.* (2019) encontraron que *P. lilacinum* solubilizó 176.40 mg L<sup>-1</sup>. Esto benefició la absorción y translocación de P en plántulas de chile habanero, tal como señala Chan-Cupul *et al.* (2018).

**Interacción fertilizante orgánico líquido × biofertilizante.** La interacción fertilizante orgánico líquido × biofertilizante fue significativa en la concentración de N y P, mientras que en el K y lecturas SPAD no hubo significancia. Al combinar PT × *P. lilacinum* se incrementó la concentración de N 57%, con respecto al testigo, y en las interacciones PT × *B. brongniartii*, PT × *P. lilacinum* y LV × *B. brongniartii* se aumentó la concentración de P cuyos valores fueron 2.23, 2.05 y 1.85 g kg<sup>-1</sup> respectivamente, en relación con el testigo (1.33 g kg<sup>-1</sup>) (Cuadro 3). Por lo tanto, con el fertilizante PT y *P. lilacinum*, y el uso del sustrato peat moss/composta se incrementó la concentración de N y P, con respecto a la solución de Steiner al 25% y el peat moss, por lo que se consideró que esta combinación fue suficiente para el suministro de macronutrientes, y por tal razón se puede utilizar para sustituir el uso de fertilizantes químicos en la nutrición de plántulas de chile habanero. Estos resultados fueron similares con el estudio de Gamboa-Angulo *et al.* (2020) en plantas chile xcat'ik, porque reportaron que la concentración de P fue mayor con aplicaciones de composta de estiércol de oveja y *B. subtilis*, en comparación con la fertilización química. En cambio, Cabanzo-Atilano *et al.* (2020) en plántulas de chile serrano (*Capsicum annum* L.) encontraron que la concentración de N y P fue superior con la solución nutritiva de Steiner, en relación con el té de vermicomposta de estiércol bovino en combinación con *P. tolasi*.

Cortés-Patiño, Vega, Sigarroa, Moreno y Cárdenas (2015) y Angulo-Castro *et al.* (2018) señalan que los microorganismos ayudan a la absorción de nutrientes disponibles incorporados en los fertilizantes, y que la capacidad de estos para colonizar raíces, sobrevivir y aumentar su población depende principalmente de la humedad, contenido de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes en el medio. Por lo anterior, se infiere que posiblemente el fertilizante PT y el sustrato peat moss/composta proporcionaron nutrientes necesarios y condiciones adecuadas a *P. lilacinum*, que provocó un posible aumento en su colonización y supervivencia, y como consecuencia favoreció el incremento en la absorción de nutrientes disponibles por las plántulas de chile habanero.

### Calidad de Plántula

**Factor fertilizante orgánico líquido.** El fertilizante orgánico líquido presentó efecto significativo en tres índices de calidad. Las plántulas que se trataron con el fertilizante PT incrementaron la relación BSA-BSR, IE e ICD en 23, 31 y 25% respectivamente, en comparación con el LV (Cuadro 4). La relación BSA-BSR mayor con el fertilizante PT fue consecuencia del aumento del crecimiento aéreo con respecto al radical (Sánchez-Aguilar, Aldrete, Vargas y Ordaz, 2016). Luna (2019), señala que con valores menores a 2.5 en esta relación la proporción entre las raíces y la parte aérea es adecuada, por lo que el sistema radical es suficiente para proveer de agua y energía a la plántula, así esta mejora su capacidad para adaptarse a campo. Con base en esto, los valores que se obtuvieron con los fertilizantes PT (3.44) y LV (2.62) superaron el rango sugerido, y estos fueron similares a los que obtuvieron Julca-Otiniano, Borjas, Bello, Ladera y Rebaza (2015) en plántulas de café (*Coffea arabica*) con aplicaciones de los fertilizantes orgánicos Fertiprotec® (3.05) y Alopes Forte® (3.06). Para el IE, los valores oscilaron de 2.80 a 4.08, de acuerdo con Prieto-Ruiz, García, Mejía, Huichín y Aguilar (2009) las plantas de calidad alta muestran IE menor a 6. Por lo tanto, las plántulas que se obtuvieron con los fertilizantes PT y LV presentaron valores adecuados. Acevedo-Alcalá, Cruz y Taboada (2020) en plántulas de chile poblano (*Capsicum annum* L.), encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) para el IE, con valores de 4.78, 4.39, 4.46 y 4.56 con el uso de los fertilizantes orgánicos Solep®, Fernatol®, estiércol vacuno y estiércol ovino, respectivamente.

**Cuadro 4. Índices de calidad de plántulas de chile habanero ‘Chichen Itzá’ en sustrato peat moss/composta, con fertilizantes orgánicos líquidos y biofertilizantes.****Table 4. Quality indices of ‘Chichen Itzá’ habanero pepper seedlings in peat moss/compost substrate, with liquid organic fertilizers and biofertilizers.**

Factor de variación	RBSA-BSR	IE	ICD
Fertilizante orgánico líquido (FOL)	**	**	**
LV	2.62 b	2.80 b	0.054 b
PT	3.44 a	4.08 a	0.072 a
Biofertilizante (B)	ns	**	ns
<i>Beauveria brongniartii</i>	3.02 a †	3.15 b	0.061 a
<i>Purpureocillium lilacinum</i>	3.03 a	3.74 a	0.065 a
Interacción (FOL × B)	ns	**	*
LV × <i>B. brongniartii</i>	2.58 b	2.63 e	0.054 c
PT × <i>B. brongniartii</i>	3.47 a	3.67 c	0.067 b
LV × <i>P. lilacinum</i>	2.66 b	2.98 d	0.053 c
PT × <i>P. lilacinum</i>	3.41 a	4.49 a	0.078 a
Testigo (Steiner al 25% y peat moss)	2.49 b	4.15 b	0.079 a

† Medias con misma letra dentro de la misma columna y dentro de cada factor son significativamente iguales, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = significancia estadística a  $P \leq 0.01$ ; \* = significancia estadística a  $P \leq 0.05$ ; ns = no significativo. RBSA-BSR = relación biomasa seca aérea/raíz; IE = índice de esbeltez; ICD = índice de calidad de Dickson; LV = lixiviado de vermicomposta; PT = Pez Terra®.

† Means with the same letter within the same column and within each factor are significantly the same, according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ); \*\* = statistical significance at  $P \leq 0.01$ ; \* = statistical significance at  $P \leq 0.05$ ; ns = not significant; RBSA-BSR = aerial/root dry biomass ratio; IE = slenderness index; ICD = Dickson's quality index; LV = vermicompost leachate; PT = Pez Terra®.

Estos valores fueron similares a los que se obtuvieron con el fertilizante PT en la investigación.

De acuerdo con Dickson *et al.* (1960) el ICD expresa el equilibrio de la distribución de la biomasa y la esbeltez, y se utiliza para predecir el comportamiento de especies diversas en campo. Fonseca-Reis de Mello *et al.* (2016), señalan que al aumentar el ICD representa plántulas de mayor vigor y calidad para trasplante. Además, Villar *et al.* (2004) indican que concentraciones de N, P y K superiores en plántulas influyen en su resistencia y calidad al tener reservas nutrimentales mayores para soportar el trasplante. Por lo tanto, se deduce que al utilizar el fertilizante PT las plántulas mejoraron su calidad, por ende, tendrán mayor supervivencia, crecimiento y producción de chile habanero. En investigaciones que se realizaron con fertilizantes orgánicos en la producción de plántulas de café (Julca-Otiniano *et al.*, 2015) y chile poblano (Acevedo-Alcalá *et al.*, 2020) reportaron que los valores de ICD oscilaron de 0.18 a 0.33 y 0.12 a 0.40, respectivamente, los cuales fueron superiores a los que se obtuvieron en la investigación.

**Factor biofertilizante.** El biofertilizante causó efecto significativo solo en el IE. Las plántulas que se inocularon con *P. lilacinum* obtuvieron valor mayor en el IE (16%), en comparación con *B. brongniartii* (Cuadro 4). Este resultado superior sugiere mejor calidad física y desarrollo de las plántulas, ya que presentan resistencia mecánica mayor durante las operaciones de plantación, y que el tamaño de estas es adecuado (López-López, Gálvez, Calleja, Méndez y Ríos, 2018). En la investigación de Sosa-Pech *et al.* (2019) en plántulas de chile habanero indicaron que el IE fue mayor (con valor de 4.35) con aplicaciones de *Bacillus* sp., en relación con el testigo sin inóculo (con valor de 3.96).

**Interacción fertilizante orgánico líquido × biofertilizante.** La interacción fertilizante orgánico líquido × biofertilizante fue significativa en el IE e ICD. La interacción PT × *P. lilacinum* obtuvo un IE más alto (con valor de 4.49) con respecto al testigo (con valor de 4.15). Para el ICD, con la combinación PT × *P. lilacinum* y el testigo se presentaron los valores mayores los cuales fueron 0.078 y 0.079, respectivamente (Cuadro 4).

Estos resultados demuestran que con el fertilizante PT y *P. lilacinum*, y el sustrato peat moss/composta se produjeron plántulas de calidad alta, iguales a las que se obtuvieron con la solución de Steiner al 25% y el peat moss; por lo que esta combinación puede sustituir la fertilización química para la producción de plántulas de chile habanero de buena calidad, y a su vez garantizar un mejor desarrollo de la planta y maximizar la producción del cultivo (Cargua-Chávez, Echeverría y Cedeño, 2020).

Rodríguez-Trejo (2008) y Prieto-Ruiz *et al.* (2009), señalan que la calidad de las plántulas es la capacidad que tienen para adaptarse, crecer y sobrevivir en las condiciones donde se establezcan, lo cual depende de su genética y tecnología de producción. Actualmente, se realizan evaluaciones más precisas para controlar las características de las plántulas que se producen, en las cuales incluyen los diferentes índices de calidad (RBSA-BSR, IE e ICD) para tener bases más sólidas sobre el comportamiento de las plantas en campo. Esto lo demuestran los reportes recientes sobre la calidad de plántulas de chile habanero (Sosa-Pech *et al.*, 2019), chile poblano (Acevedo-Alcalá *et al.*, 2020) y cacao (Cargua-Chávez *et al.*, 2020), donde los investigadores señalan y coinciden en que estos índices pueden pronosticar la supervivencia, resistencia y adaptación de las plántulas en campo, por lo que son excelentes indicadores para la selección de estas al momento del trasplante.

## CONCLUSIONES

La aplicación del fertilizante líquido Pez Terra® aumentó el crecimiento de plántulas de chile habanero ‘Chichen Itzá’, lecturas SPAD y concentración nutrimental; también, incrementó el índice de esbeltez y el de calidad de Dickson.

El biofertilizante *P. lilacinum* incrementó el crecimiento de las plántulas e índice de esbeltez en comparación con *B. brongniartii*.

La interacción del fertilizante Pez Terra® y *P. lilacinum*, y el uso del sustrato peat moss/composta 1:1 (v/v) incrementaron el contenido de nitrógeno y fósforo, y el crecimiento de las plántulas, índice de esbeltez e igualaron el índice de calidad de Dickson en contraste con el testigo (solución nutritiva de Steiner al 25% y peat moss), por lo que esta combinación se

consideró viable para la producción en almácigos de plántulas de chile habanero ‘Chichen Itzá’ de calidad, y sustituir la fertilización química.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplica.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplica.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplica.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: E.C.C., A.C.C. y W.C.C. Curado de datos: J.A.L.F. y E.C.C. Curado de contenidos: J.A.L.F., E.C.C., G.L.E., J.D.G.P. y O.R.M.V. Análisis formal de datos: J.A.L.F. y E.C.C. Metodología: E.C.C. y A.C.C. Investigación: J.A.L.F. y E.C.C. Recursos materiales: W.C.C. y A.C.C. Administración del proyecto: E.C.C. Supervisión: E.C.C., A.C.C., W.C.C., G.L.E. y J.D.G.P. Redacción-preparación del borrador original: J.A.L.F., E.C.C. y A.C.C. Redacción-revisión y edición: J.A.L.F., E.C.C., A.C.C., W.C.C., G.L.E., J.D.G.P. y O.R.M.V. Adquisición de fondos: Todos los autores.

## LITERATURA CITADA

- Acevedo-Alcalá, P., Cruz-Hernández, J., & Taboada-Gaytán, O. R. (2020). Abonos orgánicos comerciales, estiércoles locales y fertilización química en la producción de plántula de chile poblano. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(1), 35-44. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.35>
- Alcántar-González, G. & Sandoval-Villa, M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación*. Publicación especial no. 10. Texcoco, Edo. de México, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

- Alatorre-Rosas, R., Quero-Carrillo, A. R., Miranda-Jiménez, L., Ramírez-Alarcón, S., Villanueva-Verduzco, C., Jarquín-Nieto, I. A., & Villanueva-Sánchez, E. (2015). *Biofertilizantes: la solución a la productividad en el campo*. Texcoco, Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados.
- Angulo-Castro, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J. J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M., & García-Barradas, O. (2018). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema ii en plántulas de 2 variedades de *Capsicum annuum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrícicos arbusculares. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(2), 178-188. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.011>
- Baron, N. C., Souza Pollo, A., & Rigobelo, E. C. (2020). *Purpureocillium lilacinum* and *Metarhizium marquandii* as plant growth-promoting fungi. *PeerJ*, 8(1), 90-105. <https://doi.org/10.7717/peerj.9005>
- Batista-Sánchez, D., Nieto-Garibay, A., Alcaraz-Meléndez, L., Troyo-Diéguez, E., Hernández-Montiel, L., Ojeda-Silvera, C. M., & Murillo-Amador, B. (2015). Uso del FitoMas-E® como atenuante del estrés salino (NaCl) durante la emergencia y crecimiento inicial de *Ocimum basilicum* L. *Revista Nova Scientia*, 7(3), 01-10.
- Caballero-Salinas, J. C., Ovando-Salinas, S. G., Núñez-Ramos, E., & Aguilar-Cruz, F. (2020). Sustratos alternativos para la producción de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Chiapas. *Revista Siembra*, 7(2), 14-21. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.1916>
- Cabanzo-Atilano, I., Rodríguez-Mendoza, M. N., García-Cué, J. L., Almaraz-Suárez, J. J., & Gutiérrez-Castorena, M. C. (2020). La biofertilización y nutrición en el desarrollo de plántulas de chile serrano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 699-712. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2121>
- Calero-Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., González-Pardo, H. Y., Yanes-Simón, L. A., Peña-Calzada, K., Olivera-Viciedo, D., & Meléndez-Rodríguez, J. F. (2020). Respuesta agroproductiva de la habichuela a la aplicación de vermicompost lixiviado y microorganismos eficientes. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 9(1), 112-124. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v9n1.82584>
- Cargua-Chávez, J. E., Echeverría-Arangundi, C. M., & Cedeño-García, G. A. (2020). Efectividad de biochar y biofertilizantes en el crecimiento y calidad de plántulas de cacao. *Revista ESPAMCIENCIA*, 11(2), 95-100. [https://doi.org/10.51260/revista\\_espamciencia.v11i2.224](https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.224)
- Castillo-Portela, G., Villar-Delgado, J., Montano-Martínez, R., Martínez, C., Pérez-Alfocea, F., Albacete, A., Sánchez-Bravo, J., & Acosta-Echeverría, M. (2011). Cuantificación por HPLC del contenido de aminoácidos presentes en el FitoMas-E. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 45(1), 64-67.
- Cedeño-Guerra, J. L., Héctor-Ardiansa, E. F., Torres-García, A., & Fosado-Téllez, O. (2020). Respuestas del crecimiento y el rendimiento en pimiento (*Capsicum annuum* L.) híbrido Nathalie a un lixiviado de vermicompost bovino. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 2(1), 1-10. [https://doi.org/10.33936/la\\_tecnica.v0i0.1992](https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.1992)
- Chan-Cupul, W., Juárez-González, M., Ruiz-Sánchez, E., Sánchez-Rangel, J. C., Molina-Ochoa, J., & Galindo-Velasco, E. (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 Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 281-295. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.02.09>
- Chinga, W., Torres-García, A., Chirinos, D. T., & Marmol, L. E. (2020). Efecto de un lixiviado de vermicompost sobre el crecimiento y producción del algodón. *Revista Científica Ecuatoriana*, 7(2), 32-40. <https://doi.org/10.36331/revista.v7i2.130>
- Cortés-Patiño, S. L., Vega-Ayala, N. P., Sigarroa-Rieche, A. K., Moreno-Rozo, L., & Cárdenas-Caro, D. (2015). Sustratos inoculados con microorganismos para el desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en etapa de vivero. *Bioagro*, 27(3), 151-158.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Durukan, H., Demirbas, A., & Tutar, U. (2019). The effects of solid and liquid vermicompost application on yield and nutrient uptake of tomato plant. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(7), 1069-1074. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i7.1069-1074.2579>
- Gamboa-Angulo, J., Ruiz-Sánchez, E., Alvarado-López, C., Gutiérrez-Miceli, F., Ruiz-Valdiviezo, V. M., & Medina-Dzul, K. (2020). Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(4), 817-826. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>
- Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., García-Albarado, J. C., & Morales-Ramos, V. (2013). Lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) como nuevo elemento del paisaje: germinación y crecimiento en sustratos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 877-887. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i5.1293>
- Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez, L. I., & Ladewig, P. (2014). Índices de crecimiento de plántulas de lulo (*Solanum quitoense* [Lamarck.] en sustratos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(9), 1787-1793. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v0i9.1065>
- Gorbe, E., & Calatayud, A. (2010). Optimization of nutrition in soilless systems: A review. *Advances in Botanical Research*, 53, 193-245. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(10\)53006-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(10)53006-4)
- Hernández-Leal, T., López-Lima, D., & Carrión, G. (2017). Efecto de la aplicación del hongo nematófago *Purpureocillium lilacinum* sobre la disponibilidad de nutrientes en un suelo agrícola y el rendimiento de *Avena sativa*. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 48(2), 1-12.
- Jaber, R. L., & Enkerli, J. (2016). Fungal entomopathogens as endophytes: can they promote plant growth? *Biocontrol Science and Technology*, 27(1), 28-41. <https://doi.org/10.1080/09583157.2016.1243227>

- Jaroszuk-Ścisel, J., Kurek, E., & Trytek, M. (2014). Efficiency of indoleacetic acid, gibberellic acid and ethylene synthesized in vitro by *Fusarium culmorum* strains with different effects on cereal growth. *Biologia*, 69(3), 281-292. <https://doi.org/10.2478/s11756-013-0328-6>
- Jiménez, I., Ramírez, M., Petit, B., Colcenares, C., & Parra, I. (2017). Efecto de hongos micorrízicos arbusculares y estiércol de bovino en el crecimiento inicial y pigmentación en *Capsicum frutescens* L. *Bioagro*, 29(2), 137-144.
- Julca-Otiniano, A., Borjas-Ventura, R., Bello-Amez, S., Ladera-Manyari, Y., & Rebaza-Fernández, D. (2015). El crecimiento del café var. Caturra roja y su relación con la aplicación de abonos orgánicos. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2(2), 75-89.
- Lin, F. F., Qiu, L. F., Song-Deng J., Shi, Y. Y., Chen, L. S., & Wang, K. (2010). Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71(1), S60-S65. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.09.006>
- Liriano-González, R., Terán-Reyes, M. A., Núñez-Sosa, D. B., Ibáñez-Madan, D., & Pérez-Ramos, J. (2017). El humus de lombriz en la producción de plántulas de *Lycopersicon esculentum* Mill en una comunidad del Estado Cojedes, Venezuela. *Revista Centro Agrícola*, 44(4), 23-29.
- López, D. C., & Sword, G. A. (2015). The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). *Biological Control*, 89, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.03.010>
- López-López, B., Gálvez-Arce, P., Calleja-Peláez, B., Méndez-González, J., & Ríos-Camey, J. M. (2018). Sustratos orgánicos en la germinación y crecimiento de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* (Roetzl) Shaw en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49), 110-124. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.156>
- Luna, C. V. (2019). Evaluación de sustratos y concentraciones de fertilizantes sobre el crecimiento de pino tadea (*Pinus taeda* L.) en vivero. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 39(1), 19-29.
- Fonseca-Reis de Mello, B. F., Vieira-Trevisan, M., & Steiner, F. (2016). Quality of cucumber seedlings grown in different containers. *Revista de Agricultura Neotropical*, 3(1), 33-38. <https://doi.org/10.32404/rean.v3i1.820>
- Monares-Gallardo, I., Ceja-Torres, L. F., Escalera-Gallardo, C., Vázquez-Gálvez, G., & Ochoa-Estrada, S. (2012). Tamaño de partícula y tiempo de aplicación pre-siembra de harina de pescado (*Plecotomus* spp.) en producción de calabacita. *Terra Latinoamericana*, 30(2), 147-155.
- Moncayo-Luján, M. R., Álvarez-Reyna, V. P., González-Cervantes, G., Salas-Pérez, L., & Chávez-Simental, J. A. (2015). Producción orgánica de albahaca en invernadero en Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 33(1), 69-77.
- Moreno-Salazar, R., Sánchez-García, I., Chan-Cupul, W., Ruiz-Sánchez, E., Hernández-Ortega, H. A., Pineda-Lucatero, J., & Figueroa-Chávez, D. (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>
- Negrete-González, D., Ávalos-Chávez, M. A., Lezama-Gutiérrez, R., Chan-Cupul, W., Molina-Ochoa, J., & Galindo-Velasco, E. (2018). Suitability of *Cordyceps bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for biological control of *Cosmopolites sordidus* (Germer) (Coleoptera: curculionidae) in an organic Mexican banana plantation: laboratory and field trials. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 125(1), 73-81. <https://doi.org/10.1007/s41348-017-0126-4>
- Nesha, R., & Siddiqui, Z. A. (2017). Effects of *Paecilomyces lilacinus* and *Aspergillus niger* alone and in combination on the growth, chlorophyll contents and soft rot disease complex of carrot. *Scientia Horticulturae*, 218, 258-264. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.027>
- Nieto-Jacobo, M. F., Steyaert, J. M., Salazar-Badillo, F. B., Nguyen, D. V., Rostás, M., Braithwaite, ... Mendoza-Mendoza, A. (2017). Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. *Frontiers in Plant Science*, 8(102), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00102>
- Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., García-Hernández, J. L., Rueda-Puente, E. O., Esparza-Rivera, J. R., Lara-Herrera, A., Segura-Castruita, M. Á., & Orozco-Vidal, J. A. (2011). Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36(9), 689-693.
- Preciado-Rangel, P., García-Hernández, J. L., Segura-Castruita, M. Á., Salas-Pérez, L., Ayala-Garay, A. V., Esparza-Rivera, J. R., & Troyo-Diéguez, E. (2014). Efecto del lixiviado de vermicomposta en la producción hidropónica de maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 333-338.
- Prieto-Ruiz, J. A., García-Rodríguez, J. L., Mejía-Bojórquez, J. M., Huichín-Alarcón, S., & Aguilar-Vitela, J. L. (2009). *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío*. Publicación Especial no. 28. Durango, Durango, México: INIFAP-SAGARPA.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. D.F., México: Mundi-Prensa.
- Rojas-Gutiérrez, R. L., Loza-Murguía, M., Vino-Nina, L., & Serrano-Canaviri, T. (2017). Capacidad biocontroladora de *Beauveria brongniartii* (Sacc.) y *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) en el control de pulgones *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(1), 48-68.
- Sánchez-Aguilar, H., Aldrete, A., Vargas-Hernández, J. J., & Ordaz-Chaparro, V. (2016). Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia*, 50(4), 481-492.
- Santana-Baños, Y., del Busto-Concepción, A., González-Fuentes, Y., Aguiar-González, I., Carrodegua-Díaz, S., Páez-Fernández, P. L., & Díaz-Lugo, G. (2016). Efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai y FitoMas-E® como bioestimulantes de la germinación y crecimiento de plántulas de tomate. *Centro Agrícola*, 43(3), 5-12.
- San Martins-Sanes, F., Strassburger, A. S., Batista-Araújo, F., & Barbosa-Medeiros, C. A. (2015). Compostagem e fermentação de resíduos de pescado para produção de fertilizantes orgânico. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(3), 1241-1251. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1241>

- Shahsavani, Sh., Abaspour, A., Parsaeian, M., & Unesi, Z. (2017). Effect of fish waste, chemical fertilizer and biofertilizer on yield and yield components of bean (*Vigna sinensis*) and some soil properties. *Iranian Journal of Pulses Research*, 8(1), 45-59.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2020). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Consultado el 18 de septiembre de 2021, desde [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/identidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/identidad/index.jsp)
- Sosa-Pech, M., Ruiz-Sánchez, E., Tun-Suárez, J. M., Pinzón-López, L. L., & Reyes-Ramírez, A. (2019). Germinación, crecimiento y producción de glucanasas en *Capsicum chinense* Jacq. inoculadas con *Bacillus* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 137-143. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1801>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In International Society for Soilless Culture. *Proceeding Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-650). Wageningen, The Netherlands: Secretariat of ISOSC.
- Tamayo-Manrique, J. M., Martínez y Ojeda, E., & Monforte-Méndez, G. (2014). Análisis comparativo de la sustentabilidad de dos unidades productivas de chile habanero convencionales y dos unidades productivas orgánicas en Yucatán, México. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 1(194), 1-35.
- Torres-García, A., Héctor-Ardisana, E. F., Fosado-Téllez, O., Cué-García, J. L., Mero-Muñoz, J. A., León-Aguilar, R., & Peñarrieta-Bravo, S. (2019). Respuesta del pimiento (*Capsicum annuum* L.) ante aplicaciones foliares de diferentes dosis y fuentes de lixiviados de vermicompost. *Bioagro*, 31(3), 213-220.
- Toscano-Verduzco, F. A., Cedeño-Valdivia, P. A., Chancupul, W., Hernández-Ortega, H. A., Ruiz-Sánchez, E., Galindo-Velasco, E., & Cruz-Crespo, E. (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(2), 235-246. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1662737>
- Villar-Montero, R., Ruiz-Robledo, J., Quero-Pérez, J. L., Poorter, H., Valladares-Ros, F., & Marañón, T. (2004). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En Valladares, F. (Ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (pp. 191-227). Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Organismo Autónomo de Parques Nacionales. ISBN: 84-8014-552-8.