

EFECTO DE SUSTRATOS ORGÁNICOS Y HONGOS ENTOMOPATÓGENOS EN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD DE PLÁNTULAS DE *Capsicum chinense*

Jonás Alan Luna-Fletes, Elia Cruz-Crespo, Álvaro Can-Chulim, Wilberth Chan-Cupul, Francisco Palemón-Alberto, Juan Diego García-Paredes, Lesset del Consuelo Ramos-Ramírez y José Raúl Tapia-Varela

RESUMEN

Los sustratos orgánicos con aporte nutrimental y hongos entomopatógenos promotores del crecimiento vegetal, pueden ser una alternativa ecológica para la obtención de plántulas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) sanas, vigorosas y aptas para trasplante. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes sustratos orgánicos en combinación con *Beauveria brongniartii* y *Purpureocillium lilacinum* en el crecimiento, concentración nutrimental y calidad de plántula de *C. chinense*, y su contribución en la reducción del uso del peat moss y los fertilizantes químicos. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 6 [sustratos (cascarilla de arroz, composta, composta + cascarilla de arroz, peat moss, peat moss + cascarilla de arroz y peat moss + composta)] x 2 [hongos entomopatógenos (*B. brongniartii* y *P. lilacinum*)]. Los resultados mostraron que al utilizar la mez-

cla peat moss + composta las plántulas aumentaron su crecimiento y calidad en comparación al resto de los sustratos que se evaluaron. Con la inoculación de *B. brongniartii* las semillas expresaron mayor germinación (11%), y las plántulas incrementaron su altura (5%), número de hojas (4%), biomasa seca aérea (8%), biomasa seca de raíz (7%), índice de clorofila (16%) y concentración de N (2%) y P (8%) con respecto a *P. lilacinum*. Además, el análisis de las interacciones mostró que el sustrato peat moss + composta y los hongos (*B. brongniartii* y *P. lilacinum*) se obtuvo valor mayor en índice de lignificación hasta en 28%, de esbeltez en 47% y de Dickson en 84%, en comparación con los demás tratamientos, lo que indicó plántulas de mayor calidad. Se concluyó que al combinar el sustrato peat moss + composta con *B. brongniartii* o *P. lilacinum* se redujo el uso del peat moss y la fertilización química en un 50%.

Introducción

A nivel mundial la turba de musgo (peat moss) en las últimas tres décadas se ha explotado para su utilización en la medicina tradicional y comercial, al igual que en la industria cosmética y sector agrícola, en este último como uno de los sustratos de mayor demanda, debido a su alta retención de humedad y nutrimentos, ligereza y baja tasa de descomposición, características ideales

para la producción de plántulas hortofrutícolas; actualmente este material es considerado un recurso no renovable por lo cual se deben buscar alternativas para reducir su uso en la agricultura (Decker y Reski, 2020). En su lugar se ha propuesto el uso de la composta, sola o en mezcla con otros sustratos (Durukan *et al.*, 2019; Galeote-Cid *et al.*, 2022), ya que los estudios indican que estas favorecen el crecimiento de las plantas, por su contenido

nutrimental alto y aporte de reguladores de crecimiento que contribuyen en la disminución del uso de fertilizantes químicos. Otro sustrato que en la actualidad es objeto de investigaciones para reducir el uso del peat moss y que se encuentra disponible en Nayarit, México, es la cascarilla de arroz, este material presenta porosidad total y capacidad de aireación alta, y retención de humedad baja, esta última característica incrementa cuando

la cascarilla de arroz se mezcla con otros sustratos tales como el peat moss y vermiculita, lo que favorece la producción de plántulas (Zanin *et al.*, 2011; Cruz-Crespo *et al.*, 2023); sin embargo, sobre cómo se modifican las propiedades fisicoquímicas y nutrimentales, y las respuestas de las plántulas cuando se combina la cascarilla de arroz con la composta para formar un sustrato la información es escasa.

PALABRAS CLAVE / *Beauveria brongniartii* / *Capsicum chinense* Jacq / Índices de Calidad / *Purpureocillium lilacinum* / Sustratos /

Recibido:12/09/2023. Modificado: 04/07/2024. Aceptado: 06/07/2024.

Jonás Alan Luna Fletes. Doctor en Ciencias Agrícolas, Programa de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit, México.
Elia Cruz-Crespo (Autora de correspondencia). Doctora en Ciencias en Edafología. Profesora-Investigadora, Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, México. Dirección: Unidad Académica de Agricultura. Carretera

Tepic-Compostelakm 9. CP. 63780. Xalisco, Nayarit, México. e-mail: ccruze2006@yahoo.com.mx.
Álvaro Can-Chulim. Doctor en Ciencias en Hidrociencias. Profesor-Investigador, Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, México.
Wilberth Chan-Cupul. Doctor en Manejo de Recursos Naturales. Profesor-Investigador, Universidad de Colima, México.

Francisco Palemón-Alberto. Doctor en Ciencias en Genética. Profesor-Investigador, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero, México.
Juan Diego García-Paredes. Doctor en Filosofía en Agronomía. Profesor-Investigador, Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, México.
Lesset del Consuelo Ramos-Ramírez. Doctora en Ciencias

Ambientales. Profesora-Investigadora, Unidad Académica de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad Autónoma de Nayarit, México.
José Raúl Tapia-Varela. Doctor en Ciencias Naturales y Bio-Psicosociales. Profesor-Investigador, Secretaria de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit, México.

EFFECT OF ORGANIC SUBSTRATES AND ENTOMOPATHOGENIC FUNGI ON THE GROWTH AND QUALITY OF *Capsicum chinense* SEEDLINGS

Jonás Alan Luna-Fletes, Elia Cruz-Crespo, Álvaro Can-Chulim, Wilberth Chan-Cupul, Francisco Palemón-Alberto, Juan Diego García-Paredes, Lesset del Consuelo Ramos-Ramírez and José Raúl Tapia-Varela

SUMMARY

Organic substrates with nutritional contribution and entomopathogenic fungi that promote plant growth can be an ecological alternative for obtaining healthy, vigorous habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq) seedlings suitable for transplanting. The objective of the study was to evaluate the effect of different organic substrates in combination with *Beauveria brongniartii* and *Purpureocillium lilacinum* on the growth, nutritional concentration and seedling quality of *C. chinense*, and its contribution to reducing the use of peat moss and chemical fertilizers. A completely randomized experimental design was used with a factorial arrangement of 6 [substrates (rice husk, compost, compost + rice husk, peat moss, peat moss + rice husk and peat moss + compost)] x 2 [entomopathogenic fungi (*B. brongniartii* and *P. lilacinum*)]. The results showed

that when using the peat moss + compost mixture, the seedlings increased their growth and quality compared to the rest of the substrates that were evaluated. The results showed that when using the peat moss + compost mixture, the seedlings increased their growth and quality compared to the rest of the substrates that were evaluated. Also, the analysis of the interactions showed that the peat moss + compost substrate and the fungi (*B. brongniartii* and *P. lilacinum*) a higher value was obtained in the lignification index of up to 28%, slenderness in 47% and Dickson in 84%, in comparison with the other treatments, which indicated higher quality seedlings. It was concluded that by combining the peat moss + compost substrate with *B. brongniartii* or *P. lilacinum*, the use of peat moss and chemical fertilization was reduced by 50%.

EFEITO DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS E FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS NO CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Capsicum chinense*

Jonás Alan Luna-Fletes, Elia Cruz-Crespo, Álvaro Can-Chulim, Wilberth Chan-Cupul, Francisco Palemón-Alberto, Juan Diego García-Paredes, Lesset del Consuelo Ramos-Ramírez e José Raúl Tapia-Varela

RESUMO

Os substratos orgânicos com adição de nutrientes e fungos entomopatogênicos promotores do crescimento vegetal podem ser uma alternativa ecológica para a obtenção de mudas de pimenta habanero (*Capsicum chinense* Jacq) saudáveis, vigorosas e adequadas para transplante. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito de diferentes substratos orgânicos em combinação com *Beauveria brongniartii* e *Purpureocillium lilacinum* no crescimento, concentração de nutrientes e qualidade das mudas de *C. chinense*, e sua contribuição na redução do uso de turfa e fertilizantes químicos. Foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo fatorial 6 [substratos (casca de arroz, composto, composto + casca de arroz, turfa, turfa + casca de arroz e turfa + composto)] x 2 [fungos entomopatogênicos (*B. brongniartii* e *P. lilacinum*)]. Os resultados mostraram que ao utilizar a mistura turfa + composto, as mudas

augmentaram seu crescimento e qualidade em comparação com os demais substratos avaliados. Com a inoculação de *B. brongniartii*, as sementes apresentaram maior germinação (11%) e as mudas aumentaram sua altura (5%), número de folhas (4%), biomassa seca aérea (8%), biomassa seca de raiz (7%), índice de clorofila (16%), concentração de N (2%) e P (8%) em relação a *P. lilacinum*. Além disso, a análise das interações mostrou que o substrato turfa + composto e os fungos (*B. brongniartii* e *P. lilacinum*) proporcionaram maior valor no índice de lignificação em até 28%, índice de esbeltez em 47% e índice de Dickson em 84%, em comparação com os demais tratamentos, indicando mudas de maior qualidade. Concluiu-se que ao combinar o substrato turfa + composto com *B. brongniartii* ou *P. lilacinum*, houve uma redução no uso de turfa e fertilização química em 50%.

Además de las compostas, otra alternativa de fertilización amigable con el ambiente es el uso de hongos entomopatogénicos (Krell *et al.*, 2018). Los estudios sobre estos hongos en la promoción del crecimiento vegetal son pocos, en la mayoría de reportes se evalúa la inoculación de bacterias y micorrizas (Arias-Mota *et al.*, 2019; Sosa-Pech *et al.*, 2019; Galeote-Cid *et al.*, 2022). De los hongos que se utilizan comúnmente en la agricultura

como control biológico de plagas se encuentran *Beauveria brongniartii* (especie parásita facultativa de insectos) y *Purpureocillium lilacinum* (parásita facultativas de nematodos) (Toscano-Verduzco *et al.*, 2019; Baron *et al.*, 2020), los cuales también se pueden usar como biofertilizantes porque tienen la habilidad de estimular el crecimiento de plantas al solubilizar fosfato tricálcico [$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$], fosfato férrico (FePO_4), y producir sideróforos

y ácido indol-3-acético (Moreno-Salazar *et al.*, 2019; Toscano-Verduzco *et al.*, 2019), por lo que se seleccionaron para la investigación.

Además, en el proceso productivo de chile habanero es importante la calidad de plántula, esto para garantizar la supervivencia después del trasplante y elevar la producción de fruto (Cabanzo-Atilano *et al.*, 2020). La calidad productiva de plántulas de hortalizas que se produce en vivero o

invernadero depende principalmente de los nutrientes que se suministran con los fertilizantes solubles; sin embargo, actualmente se prefieren alternativas de fertilización para la obtención de plántulas más sanas y económicas sin afectar el desarrollo y adaptación de estas en campo, esto mediante la asociación de las plantas con hongos o bacterias benéficas (Krell *et al.*, 2018; Barajas-Méndez *et al.*, 2022). En México, el chile habanero

presenta un crecimiento anual del 13% y alcanza precios elevados (> 50%) en el mercado en relación a otros tipos de chiles, por sus características organolépticas y contenido de capsaicina alto (Meneses-Lazo y Garruña, 2020; SIAP, 2021). Este se comercializa, principalmente, en México, Estados Unidos, Japón, Alemania y otros países de Europa; también, es materia prima en la industria gastronómica, farmacéutica y química (Meneses-Lazo y Garruña, 2020; Joshi *et al.*, 2022). En Nayarit y Colima el incremento anual de *C. chinense* fue de 43 y 26%, respectivamente (SIAP, 2021). El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de sustratos orgánicos en combinación con la inoculación de los hongos entomopatógenos *B. brongniartii* y *P. lilacinum* en el crecimiento, concentración nutricional y calidad de plántulas de *C. chinense*, y su contribución en la reducción del uso del peat moss y los fertilizantes químicos.

Materiales y Métodos

Ubicación del sitio experimental

La investigación se realizó en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Colima en Tecmán, Colima, México (18°57'09.97"N, 103°53'40.67"O; 56msnm) en un invernadero tipo gótico con techo de plástico y ventanas laterales con malla antiáfidos, con temperatura mínima y máxima promedio de 34 y 46°C, respectivamente, y humedad relativa promedio de 86%.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 6 con 10 repeticiones, los factores fueron, los sustratos cascarilla de arroz (CAS), composta (COM), composta + cascarilla de arroz (COM+CAS), peat moss (PM), peat moss + cascarilla de arroz (PM+CAS) y peat moss + composta (PM+COM),

y los hongos entomopatógenos *B. brongniartii* (Bb) y *P. lilacinum* (Pl), lo que originó 12 tratamientos con el uso de la solución nutritiva de Steiner (1984) al 12,5%; esta concentración se estableció como el 50% de reducción de fertilización química con respecto al testigo, el cual fue peat moss sin hongo entomopatógeno con solución de Steiner al 25%, de acuerdo con Luna-Fletes *et al.* (2021). La unidad experimental consistió de 20 plántulas.

Fuente fúngica y producción de esporas

Los hongos entomopatógenos *B. brongniartii* y *P. lilacinum* se aislaron de la rizosfera del cultivo de papaya (*Carica papaya* L.), en el municipio de Tecmán, Colima (Chan-Cupul *et al.*, 2018). Las colonias fúngicas se reactivaron y mantuvieron en agar papa dextrosa (PDA) a 25°C y 75% de humedad relativa para generar los inóculos en fermentación sólida en laboratorio. La producción de esporas se realizó en 200g de arroz que se colocaron en bolsas de polipropileno de 2kg, y se esterilizaron en autoclave (121°C y 200kPa por 30min). Después, cada bolsa con el arroz se inoculó con 1 ml de suspensión de esporas (1×10^7 esporas·ml⁻¹) de *B. brongniartii* o *P. lilacinum* y se incubaron durante 3 semanas a 25±3°C, 10:14h luz:oscuridad y 75±5% de humedad relativa. Posteriormente, estas se lavaron con agua purificada y Tween 80 al 0.05%,

después el líquido se centrifugó a 36,000rpm durante 20min, de esto se obtuvo una pasta que se deshidrató en campaña de flujo laminar a oscuridad; el producto sólido resultante se tomó como ingrediente activo de esporas de acuerdo con Negrete-González *et al.* (2018). Previo a la aplicación de los hongos entomopatógenos se realizó un análisis de viabilidad de las esporas de *B. brongniartii* y *P. lilacinum*, según la metodología de Viera *et al.* (2018), donde se encontró una viabilidad estable a través del tiempo de acuerdo con la capacidad germinadora de las esporas.

Dosis e inoculación de los hongos entomopatógenos

Se aplicó una dosis de 2 g de producto sólido de esporas de *B. brongniartii* o *P. lilacinum*/L de agua (1×10^6 esporas·ml⁻¹). La primera inoculación se realizó a la semilla de *C. chinense*, las cuales se sumergieron en 200ml de la suspensión de esporas. Después, se realizaron aplicaciones del inóculo cada siete días, durante seis semanas con 100ml de suspensión de esporas directamente en cada charola a través del riego (Moreno-Salazar *et al.*, 2019).

Establecimiento del experimento

Semillas de *C. chinense* 'Chichen Itzá' de la casa comercial Seminis® se sembraron en charolas de unicel de

200 cavidades que contenían el sustrato CAS, COM, COM+CAS, PM, PM+CAS y PM+COM; estas se regaron con agua potable hasta su germinación. Después, se aplicaron uno o dos riegos de 800 ml/charola (según el crecimiento de la plántula) con la solución nutritiva de Steiner al 12,5% de concentración con excepción del testigo el cual se regó con solución nutritiva al 25%. La solución nutritiva de Steiner al 12,5% consistió de NO₃⁻ (1,50 meq·l⁻¹), H₂PO₄⁻ (0,12 meq·l⁻¹), SO₄²⁻ (0,87 meq·l⁻¹), K⁺ (0,87 meq·l⁻¹), Ca²⁺ (1,12 meq·l⁻¹), Mg²⁺ (0,50 meq·l⁻¹), Fe-EDTA (3 mg·l⁻¹), Mn-EDTA (1,48 mg·l⁻¹), B (0,16 mg·l⁻¹), Zn-EDTA (0,24 mg·l⁻¹), Cu-EDTA (0,12 mg·l⁻¹) y Mo (0,08 mg·l⁻¹), para esto se consideró el aporte de nutrientes del agua. El peat moss consistió de turba canadiense más vermiculita 4:1 v/v (Sunshine 3®); la cascarilla de arroz se obtuvo de la planta arrocería en Nayarit, México; la composta fue de bagazo de caña (Terrasana®, México). Se realizaron las mezclas de acuerdo con el tratamiento en proporción 1:1v/v, posteriormente se esterilizaron en autoclave Sterilmatic®, Market-Forge Industries (USA), a 121°C y 15 psi durante 30 minutos. Las propiedades físicas de los sustratos se presentan en la Tabla I, y las propiedades químicas y composición nutricional de los sustratos para la elaboración de mezclas se muestran en la Tabla II.

TABLA I
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE *C. chinense* 'CHICHEN ITZÁ'

Sustrato	EPT (%)	CA (%)	CRH (%)
CAS	81.00	65.50	15.50
COM	64.11	4.47	59.65
COM+CAS	66.00	5.53	60.47
PM	83.97	10.64	73.33
PM+CAS	84.67	17.23	67.44
PM+COM	76.13	6.77	69.36

CAS: cascarilla de arroz, COM: composta, PM: peat moss, EPT: espacio poroso total, CA= capacidad de aireación, CRH= capacidad de retención de humedad.

TABLA II
PROPIEDADES QUÍMICAS Y COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL DE LOS SUSTRATOS UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE *C. Chinense* 'CHICHEN ITZÁ'

Sustrato	pH	CE	CIC	N	P	K	Ca	Mg
		dS·m ⁻¹	Cmol (+)·kg ⁻¹					
CAS	6,87	0,66	-	-	-	-	-	-
COM	6,78	1,88	29	569,92	32,72	2262,87	534,4	238,95
PM	6,52	0,47	18	18,08	5,10	128,72	93,52	951,75

CAS= cascarilla de arroz; COM= composta; PM= peat moss; CE= conductividad eléctrica; CIC= capacidad de intercambio catiónico.

Variables evaluadas

Porcentaje de germinación (GM), a los 20 días después de la siembra (dds) se determinó con la proporción del número de semillas que germinaron respecto del total de semillas que se sembraron. Las siguientes variables se evaluaron a los 48 dds, altura de plántula (AP), se midió con una cinta métrica, desde la base del tallo a la yema apical; diámetro de tallo (DT), se midió de su base con un vernier digital Trupper® modelo CALDI-6MP (México); número de hojas (NH), se contó el total de hojas por plántula; área foliar (AF), se cortaron las hojas de las plántulas y se introdujeron en un integrador de área foliar CID Bio Science, CI-202® (USA); biomasa seca aérea (BSA), se cortó la plántula a nivel de sustrato y se secó a 60°C hasta peso constante en estufa con circulación de aire TERLAB modelo TE-I60DM (México), después se pesaron en una balanza electrónica FA1204B® (Shanghai); biomasa seca de raíz (BSR), se eliminaron restos de sustrato y las raíces se secaron a 60°C hasta peso constante en una estufa con circulación de aire TERLAB modelo TE-I60DM (México), posteriormente se obtuvo el peso en una balanza electrónica FA1204B® (Shanghai); índice de clorofila (IC), se leyeron en las hojas con un espectroradiómetro Spectrum Technologies, FieldScout 1000® (USA). Concentración nutrimental, la parte aérea de las plántulas de *C. chinense* se secaron en estufa y después se molieron con un mortero; posteriormente, 0,5g de muestra se sometió a

digestión húmeda y en el extracto se determinó N total por el método microkjeldahl (Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999), P se obtuvo por el método de amarillo vanadato molibdato mediante un espectrofotómetro Labomed Inc. Modelo Spectro 23-RS® (USA) y K se determinó en un flammómetro Cole-Parmer modelo 360® (USA).

Relación biomasa seca aérea/raíz (BSA/BSR), se obtuvo como relación BSA/BSR= peso seco aéreo (g)/peso seco de raíz (g); índice de esbeltez (IE)= altura de plántula (cm)/diámetro de tallo (mm); índice de lignificación (ILIG%)= peso seco de plántula (g)/peso húmedo de plántula (g)*100; Índice de calidad de Dickson (IDS)= peso seco total de plántula (g)/IE + relación BSA/BSR (Dickson *et al.*, 1960). Esto a los 48dds.

Análisis de datos

Se aplicó el análisis de varianza y la comparación de medias por Tukey ($p \leq 0,05$); también, se empleó el análisis de correlación de Pearson. Todos los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS® (Statistical Analysis System) versión 9.0 para Windows®.

Resultados y Discusión

Efectos principales de los factores y su interacción en el crecimiento y concentración nutrimental

Factor sustrato. Los sustratos PM, PM+CAS y PM+COM obtuvieron porcentaje de GM mayor con 87, 94 y 93%

respectivamente, en comparación con la COM (56%). La AP y DT fueron mayores del 42 al 64% en la mezcla PM+COM con respecto a las plántulas en otros sustratos, al igual que el NH, AF, BSA y BSR fueron superiores entre 27 a 82% en este sustrato (Tabla III). En la mezcla PM+COM las plántulas de *C. chinense* aumentaron el IC hasta en un 55%, en comparación con los demás sustratos, y esta mezcla y el sustrato COM incrementaron la concentración de N en 12,14 y 12,19g·kg⁻¹; en cambio la concentración mayor de P se obtuvo en los sustratos PM+COM, PM+CAS, COM+CAS y COM con valores de 3,97; 3,83; 3,69 y 3,61g·kg⁻¹, respectivamente, y la de K se presentó en el sustrato PM+COM (25,08g·kg⁻¹) y PM (23,82g·kg⁻¹), en relación con los otros sustratos (Tabla IV). Con base a lo anterior, se observó un incremento en el crecimiento de plántula con el sustrato PM+COM, así como una tendencia de absorción nutrimental superior en los sustratos a base de composta, lo cual se puede explicar en parte al contenido nutrimental alto presente en este material (Tabla II), y a las propiedades físicas diferentes de los sustratos. Los valores de CA (6,77%) y CRH (69,36%) que presentó el sustrato PM+COM fueron más altos que al utilizar la composta sola (4,47 y 59,65%) (Tabla I). Esto favoreció el suministro de agua y nutrientes, lo que sin duda benefició el crecimiento y absorción nutrimental en plántulas como lo señalan Monsalve-Camacho *et al.* (2021). También, Gamboa-Angulo *et al.* (2020) destacan

que la composta al utilizarla como sustrato genera efecto positivo en los cultivos, debido a que activa procesos microbiológicos, contienen sustancias fenólicas, actúa como regulador de temperatura y mejora la asimilación de fósforo al retardar la fijación del ácido fosfórico. Además, el IC superior que se obtuvo con la mezcla PM+COM, puede explicar el aumento en el crecimiento, ya que este índice se relaciona con el contenido de N, porque participa en la constitución de las moléculas de clorofila (Taiz y Zeiger, 2004).

En investigación de Carballo-Méndez *et al.* (2017) en plantas de pepino (*Cucumis sativus*) encontraron mayor diámetro de tallo, área foliar, altura y contenido de clorofila (SPAD) con el sustratos composta de residuos vegetales (16%) + peat moss (84%) en comparación con el peat moss (100%), lo que atribuyeron no solo a las propiedades físicas diferentes de los sustratos, sino también a la carga de nutrientes en la composta y al aporte de reguladores de crecimiento como ácidos húmicos y hormonas. Respuestas similares se encontraron en la investigación. Los resultados de concentración nutrimental guardan similitud con los que reportaron Nava-Pérez *et al.* (2019) en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), porque el contenido de N mayor lo obtuvieron con el sustrato peat moss en combinación con vermicomposta de estiércol bovino en comparación con el peat moss.

Factor hongo entomopatógeno. Las semillas de *C. chinense* que se inocularon con *B.*

GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *C. chinense* 'CHICHEN ITZÁ' EN SUSTRATOS E INOCULADAS CON HONGOS ENTOMOPATÓGENOS (HE)

Factor	GM (%)	AP (cm)	DT (mm)	NH	AF (cm ²)	BSA (mg)	BSR (mg)
Sustrato	**	**	**	**	**	**	**
CAS	77,25 c	5,09 e	1,64 d	6,20 e	2,30 f	62,22 e	9,82 e
COM	56,00 d	6,50 d	1,67 d	6,77 cd	5,48 b	146,80 b	36,80 b
COM+CAS	85,25 b	9,06 b	2,00 b	7,02 bc	5,10 c	138,65 b	27,43 c
PM	87,00 ab	7,33 c	1,86 c	7,27 b	3,54 d	125,92 c	21,99 d
PM+CAS	94,00 a	7,36 c	1,60 d	6,65 d	2,64 e	76,23 d	9,48 e
PM+COM	93,00 a	14,04 a	2,78 a	8,60 a	9,39 a	354,00 a	48,17 a
DMS	7,02	0,335	0,115	0,347	0,237	11,28	1,936
HE	**	**	ns	**	ns	**	**
Bb	87,08 a	8,45 a	1,91 a	7,22 a	4,76 a	156,95 a	26,59 a
Pl	77,08 b	8,01 b	1,94 a	6,95 b	4,72 a	144,32 b	24,64 b
DMS	2,77	0,132	0,045	0,137	0,093	4,464	0,766

Medias con misma letra dentro de la misma columna son significativamente iguales, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), **= significancia estadística a $p \leq 0.01$, ns= no significativo, GM= germinación, AP= altura de plántula, DT= diámetro de tallo, NH= número de hojas, AF= área foliar, BSA= biomasa seca aérea, BSR= biomasa seca de raíz, CAS= cascarilla de arroz, COM= composta, PM= peat moss, Bb= *Beauveria brongniartii*, Pl= *Purpureocillium lilacinum*, DMS= diferencia mínima significativa.

ÍNDICE DE CLOROFILA Y CONCENTRACIÓN MACRONUTRIMENTAL EN PLÁNTULAS DE *C. chinense* 'CHICHEN ITZÁ' EN SUSTRATOS E INOCULADAS CON HONGOS ENTOMOPATÓGENOS (HE)

Factor	Índice de clorofila	N	P	K
	Unidades		g·kg ⁻¹	
Sustrato	**	**	**	**
CAS	151,03 e	8,71 c	3,44 b	20,66 cd
COM	221,35 b	12,14 a	3,61 ab	20,26 d
COM+CAS	188,48 c	9,59 b	3,69 ab	22,39 bc
PM	178,65 d	9,20 bc	3,38 b	23,82 ab
PM+CAS	151,43 e	9,24 bc	3,83 a	19,37 d
PM+COM	333,95 a	12,19 a	3,97 a	25,08 a
DMS	7,17	0,727	0,365	2,032
HE	**	*	**	ns
Bb	222,06 a	10,29 a	3,81 a	22,32 a
Pl	186,23 b	10,09 b	3,50 b	21,54 a
DMS	2,84	0,280	0,140	0,783

Medias con misma letra dentro de la misma columna 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; CAS= cascarilla de arroz; COM= composta; PM= peat moss; Bb= *Beauveria brongniartii*; Pl= *Purpureocillium lilacinum*; DMS= diferencia mínima significativa.

brongniartii presentaron mayor GM (87,08%), en comparación con *P. lilacinum* (77,08%); también con *B. brongniartii* la AP, NH, BSA y BSR fue superior en 4 a 7% (Tabla III). El IC y la concentración de N y P fue menor con el hongo *P.*

lilacinum en 16, 2 y 8%, respectivamente, con relación a las plántulas con *B. brongniartii* (Tabla IV). Esto se explicó por su capacidad mayor de solubilizar P, y producir ácido indol-3-acético (AIA), porque Toscano-Verduzco *et al.* (2019)

y Moreno-Salazar *et al.* (2019) en estudios de laboratorio, reportaron que *B. brongniartii* solubilizó 198,65 mg·l⁻¹ de P y tuvo la capacidad de producir hasta 44,9 mg·l⁻¹ de AIA, mientras que *P. lilacinum* solubilizó 176,40 mg·l⁻¹ de P y

produjo 25,8 mg·l⁻¹ de AIA. El P es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, desempeña funciones estructurales en los ácidos nucleicos y la transferencia de energía en los procesos metabólicos de biosíntesis y degradación (Mitran *et al.*, 2018), y el AIA es la principal auxina en plantas, está involucrada en el crecimiento y desarrollo de estas, principalmente en una serie de procesos fisiológicos que incluyen el alargamiento, división celular, diferenciación de tejido y fototropismo (Santner *et al.*, 2009). También, el comportamiento de la concentración nutricional fue similar al crecimiento de las plántulas de *C. chinense*. Lo anterior explica las correlaciones positivas que se encontraron entre el contenido de N y la BSR ($r = 0,86^{**}$), IC ($r = 0,80^{**}$), AF ($r = 0,77^{**}$), BSA ($r = 0,71^{**}$), AP ($r = 0,58^{**}$) y DT ($r = 0,56^{**}$), el P con la AP ($r = 0,51^{**}$), BSA ($r = 0,47^{**}$) y AF ($r = 0,47^{**}$), y elk con DT ($r = 0,67^{**}$), NH ($r = 0,66^{**}$), AP ($r = 0,62^{**}$) y BSA ($r = 0,60^{**}$).

Se conocen pocos reportes sobre el uso de hongos entomopatógenos como biofertilizantes en la producción de

TABLA V
ÍNDICES DE CALIDAD DE PLÁNTULAS DE *C. chinense* 'CHICHEN ITZÁ' EN
SUSTRATOS E INOCULADAS CON HONGOS ENTOMOPATÓGENOS (HE)

Factor	BSA/BSR	ILIG (%)	IE	IDS
Sustrato	**	**	**	**
CAS	6,85 b	17,84 c	3,10 d	0,007 e
COM	4,01 e	15,58 d	3,84 c	0,023 b
COM+CAS	5,08 d	19,40 bc	4,54 b	0,017 c
PM	5,81 c	18,62 bc	3,93 c	0,015 d
PM+CAS	8,16 a	18,58 bc	4,61 b	0,006 e
PM+COM	7,40 b	20,99 a	5,23 a	0,031 a
DMS	0,616	1,483	0,216	0,001
HE	**	**	**	**
Bb	5,89 b	18,87 a	4,36 a	0,017 a
Pl	6,55 a	18,20 b	4,06 b	0,016 b
DMS	0,244	0,587	0,085	0,0004

Medias con misma letra dentro de la misma columna son significativamente iguales, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); **= significancia estadística a $p \leq 0.01$; BSA/BSR= relación biomasa seca aérea/raíz; ILIG= índice de lignificación; IE= índice de esbeltez; IDS= índice de Dickson; CAS= cascarilla de arroz; COM= composta; PM= peat moss; Bb= *Beauveria brongniartii*; Pl= *Purpureocillium lilacinum*; DMS= diferencia mínima significativa.

cultivos, Macuphe *et al.* (2021) en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) encontraron que la altura y longitud de raíz, y la concentración de N y P foliar fue mayor con aplicaciones de *Beauveria bassiana*, con respecto a las plántulas sin inóculo. Barajas-Méndez *et al.* (2022) en plantas de papaya (*Carica papaya* L.) reportaron que la germinación, diámetro de tallo y pesos seco aéreo incrementó con la inoculación de *B. brongniartii*, en comparación con el testigo sin inocular, esto lo atribuyeron a que *B. brongniartii* es un hongo endófito que produce sideróforos y ácidos orgánicos, lo cual mejora la disponibilidad de nutrientes en el medio. Resultados similares se encontraron en el trabajo de investigación.

Interacción sustrato x hongo entomopatógeno. Se observó interacción mayor entre los tratamientos COM x *B. brongniartii*, COM x *P. lilacinum*, COM+CAS x *B. brongniartii* y COM+CAS x *P. lilacinum*, donde el porcentaje de germinación se disminuyó, y fue el tratamiento COM x *P. lilacinum* el de más bajo valor. El mayor porcentaje de germinación se obtuvo en los tratamientos CAS x *B. brongniartii*

(90.5%), COM+CAS x *B. brongniartii* (87%), PM+CAS x *B. brongniartii* (94%), PM+CAS x *P. lilacinum* (94%), PM+COM x *B. brongniartii* (95%) y PM+COM x *P. lilacinum* (91%), donde se presentó menor interacción, además de que estos obtuvieron porcentaje de germinación similar al testigo (Figura 1). Estos resultados pueden deberse a la mayor CE y PH de los

sustratos COM y CAS en contraste con PM (Tabla II), donde *B. brongniartii* fue menos sensible. De acuerdo con Restrepo-Correa *et al.* (2017), la actividad benéfica de los biofertilizantes para semillas y plantas depende principalmente de las particularidades metabólicas de cada especie de microorganismo, y de la tolerancia de estos a condiciones de estrés en la rizosfera por

efecto de salinidad y temperaturas altas, y un pH inadecuado para su supervivencia y proliferación. Al respecto, Harris-Valle *et al.* (2011) en plantas de calabaza (*Cucurbita pepo* L.) con aplicaciones de biofertilizantes, encontraron que el porcentaje de colonias de *Glomus claroideum* fue más alto con respecto a los hongos *Glomus* sp. y *Pacispora* sp. al incrementar la CE de 3,8 a 4,5dS·m⁻¹ en la rizosfera, lo que atribuyeron a que la germinación de esporas y crecimiento del micelio de los hongos se redujo conforme aumentó la salinidad en la rizosfera. También, la germinación de semillas es afectada por el incremento de la salinidad y pH en el medio; Li *et al.* (2010) en semillas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) demostraron que el porcentaje de germinación disminuyó hasta en 50% con el aumento de la salinidad (de 0 a 150 mmol·l⁻¹) y pH (de 7,0 a 9,8) en cajas Petri con medio de cultivo en condiciones de laboratorio. Mientras que, Rymuza y Radzka (2021) en semillas de soja (*Glycine max* L.) reportaron un decremento del 12% en el porcentaje de germinación por el incremento del pH de 5,0 a 7,0 en suelo. Estos resultados concuerdan con los que se encontraron en esta investigación.

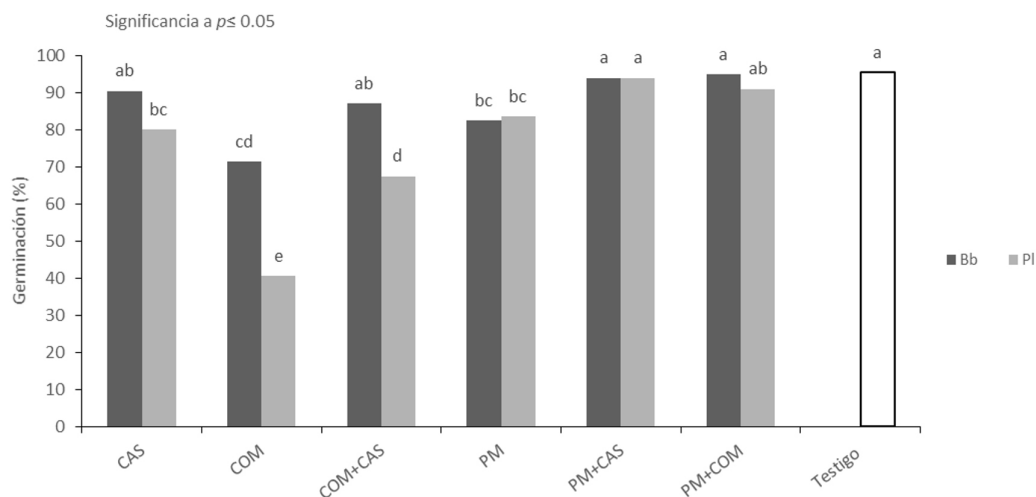


Figura 1. Interacción sustrato x hongo entomopatógeno en la germinación de semillas de *C. chinense* 'Chichen Itzá'. CAS= cascarilla de arroz, COM= composta, PM= peat moss, Testigo= peat moss sin hongo entomopatógeno con solución de Steiner al 25%, Bb= *Beauveria brongniartii*, Pl= *Purpureocillium lilacinum*.

En la Figura 2 se observaron interacciones para altura de plántula, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar, biomasa seca aérea y biomasa seca de raíz, donde los mayores valores los obtuvieron los tratamientos PM+COM x *B. brongniartii* y PM+COM x *P. lilacinum*. Además, éstos tratamientos superaron al testigo en altura de plántula (en 27 y 13%, respectivamente), en diámetro de tallo (en 27 y 25%, respectivamente), en área foliar (en 32 y 24%, respectivamente) en biomasa seca aérea (en 37 y 18%, respectivamente), pero en la biomasa seca de raíz fueron menores al testigo (en 14 y 21%, respectivamente).

En relación con la Figura 3, para el índice de clorofila, las interacciones muestran que el tratamiento PM+COM x *B. brongniartii* y PM+COM x *P. lilacinum* presentaron los mayores valores, mas solo PM+COM x *B. brongniartii* superior al testigo, en tanto que entre CAS x *B. brongniartii*, CAS x *P. lilacinum*, PM+CAS x *B. brongniartii* y PM+CAS x *P. lilacinum* presentaron menor interacción pero con los valores menores.

En el contenido de N, no se observa interacción entre PM+COM x *B. brongniartii*, COM x *B. brongniartii*, PM+COM x *P. lilacinum* y COM x *P. lilacinum*, los que obtuvieron la concentración más alta de N, aunque en comparación con el testigo estos tratamientos obtuvieron valores similares. Para P, también se observaron interacciones, donde PM+COM x *B. brongniartii* alcanzó el más alto contenido de P superando al testigo. En el contenido de K, la mayor interacción se muestra entre PM+COM x *B. brongniartii*, PM+COM x *P. lilacinum*, PM+CAS x *B. brongniartii* y PM+CAS x *P. lilacinum*, donde PM+COM x *B. brongniartii* mostró valor mayor, pero este fue 13% menor en contraste con el testigo.

De acuerdo con las variables de crecimiento de plántula se deduce que el sustrato PM+COM fue el más adecuado para la inoculación de los dos

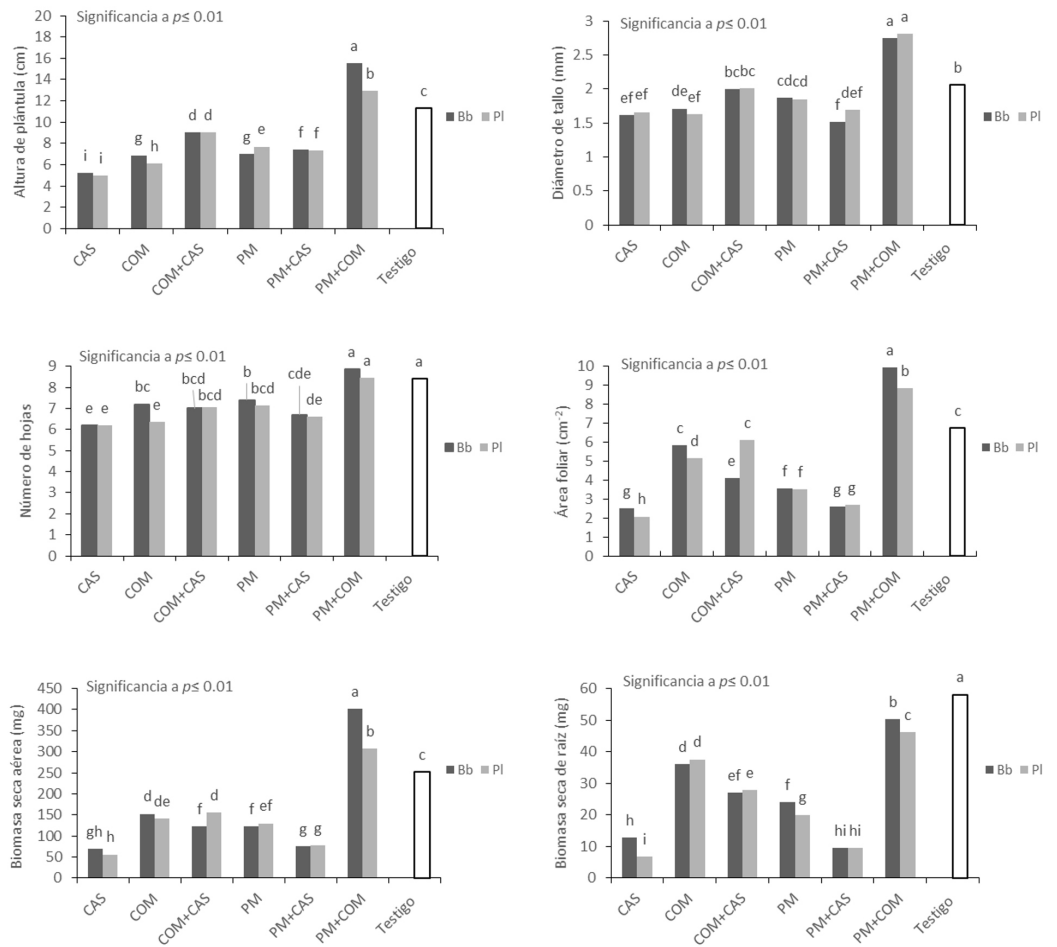


Figura 2. Interacción sustrato x hongo entomopatógeno en el crecimiento de plántulas de *C. chinense* 'Chichen Itzá'. CAS= cascarilla de arroz, COM= composta, PM= peat moss, Testigo= peat moss sin hongo entomopatógeno con solución de Steiner al 25%, Bb= *Beauveria brongniartii*, Pl= *Purpureocillium lilacinum*.

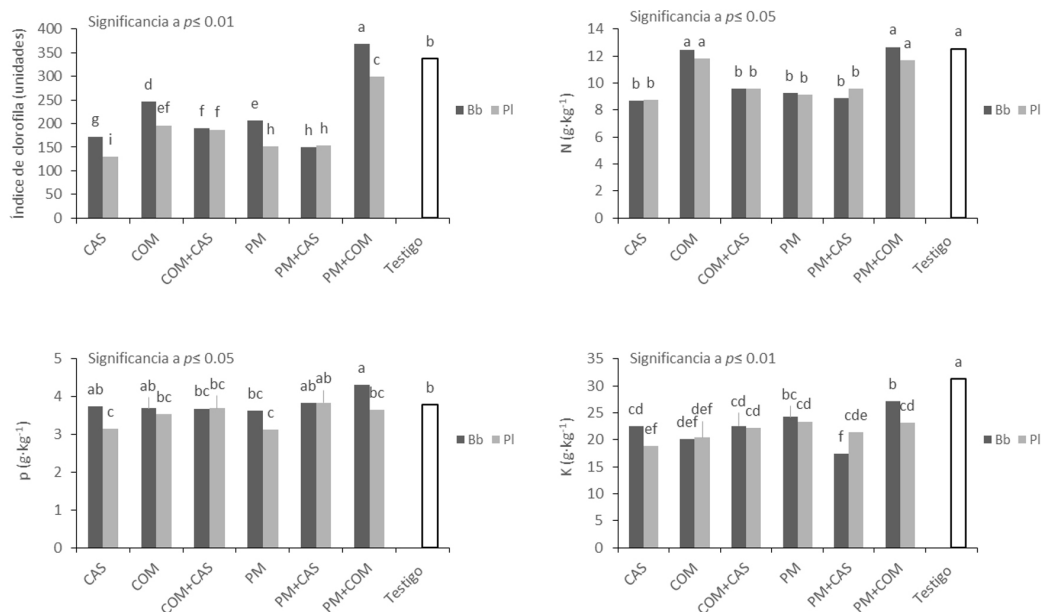


Figura 3. Interacción sustrato x hongo entomopatógeno en el índice de clorofila y concentración macronutricional en plántulas de *C. chinense* 'Chichen Itzá'. CAS= cascarilla de arroz, COM= composta, PM= peat moss, Testigo= peat moss sin hongo entomopatógeno con solución de Steiner al 25%, Bb= *Beauveria brongniartii*, Pl= *Purpureocillium lilacinum*.

hongos entomopatógenos, esto se debe posiblemente a que la combinación de ambos sustratos propició la disminución de la CE con relación a la composta, la mayor CRH y disponibilidad de nutrimentos (Tablas I y II). Por otra parte, la combinación del sustrato PM+COM más hongos entomopatógenos más la solución nutritiva al 12,5% favoreció el mayor contenido de N y P foliar, principalmente, (Figura 3), por lo que se consideró que la composta y los hongos entomopatógenos complementaron la fertilización química en plántulas de *C. chinense*. Estos resultados coinciden con los reportados por Krell *et al.* (2018) y Macuphe *et al.* (2021), quienes demostraron que los hongos entomopatógenos *Metarhizium brunneum* y *Beauveria bassiana* son endófitos capaces de colonizar semillas, raíces, tallos y hojas, producen fitohormonas, y aumentan la oferta de macronutrimentos en la rizosfera, lo que incrementó el crecimiento de plántulas de tomate y lechuga, y complementó la fertilización química. Mientras que Nava-Pérez *et al.* (2019), encontraron que la mezcla de composta + peat moss generó propiedades fisicoquímicas adecuadas e incrementó la cantidad de aniones (H_2PO_4^- y NO_3^-) y cationes (NH_4^+ y K^+) en el medio, que complementó el suministro de fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos en la producción de plántulas de tomate.

Además, Yu *et al.* (2019) señalan que la inoculación de microorganismos tiene un efecto promotor de la actividad rizosférica en la población de bacterias y hongos, lo cual lo asocian con la materia orgánica en la composta que provee un ambiente apropiado para estimular la población microbiana. Donoso *et al.* (2008) encontraron que la presencia de composta aumentó la población de *Trichoderma harzianum*, que generó un incremento en el crecimiento y contenido nutricional de plántulas de pino (*Pinus radiata*). Esto llevó a inferir que la población de *B. brongniartii* aumentó en los

sustratos con composta, lo que estimuló el crecimiento y nutrición de la plántula. Sin embargo, se recomienda realizar estudios de comportamiento y dinámica poblacional de los hongos entomopatógenos en función de los sustratos.

Efectos principales de los factores y su interacción en los Índices de calidad de plántula

Factor sustrato. Las plántulas en el sustrato PM+CAS alcanzaron valores más altos en la relación BSA/BSR (8,16) en comparación con las plántulas en los demás sustratos. El ILIG al utilizar las mezclas PM+COM fue mayor con valor de 20,99%. Para el caso del IE e IDS las plántulas de *C. chinense* en la mezcla PM+COM presentaron los índices mayores (5,23 y 0,031, respectivamente) en relación con los otros sustratos (Tabla V). Con base en lo anterior, Bastow-Wilson (1988) menciona que las diferencias en la relación BSA/BSR se pueden atribuir al deficiente suministro de agua, CO_2 y nutrimentos como el N. Esto podría explicar la relación BSA/BSR superior que obtuvo con la mezcla PM+CAS en donde el aporte de N fue menor. Lacerda-Medeiros *et al.* (2018) en la producción de plántulas de pepino (*Cucumis sativus*), reportaron que con los sustratos peat moss, cascarilla de arroz y residuos de soya la relación BSA/BSR fue de 6,51, 7,87 y 6,31, respectivamente, las cuales fueron similares a los valores que se obtuvieron en el estudio.

Al utilizar las mezclas PM+COM las plántulas presentaron mayor peso seco, lo que pudo favorecer el ILIG, este índice indica resistencia de la plántula ante un posible estrés hídrico, lo cual de acuerdo con Ávila-Flores *et al.* (2014) se traduce en mayor crecimiento y adaptación al campo. Para el caso del IE, valores altos indican una planta más robusta y con menos probabilidad de sufrir daños posteriores al trasplante (Pineda-Ojeda *et al.*, 2020). Finalmente, cuanto mayor

es el valor del IDS, mejor es la calidad de las plántulas y son más vigorosas cuando se trasplantan (Mello *et al.*, 2016). Al respecto, Domínguez-Liévano y Espinosa-Zaragoza (2021) en plántulas de *Hymenaea courbaril* encontraron un incremento en el ILIG (42,01%) y IDS (0,19) al utilizar el sustrato tierra negra + peat moss + aserrín (en proporción 1:1:1) en comparación con la tierra negra (38,25% y 0,16, respectivamente). Por lo tanto, se deduce que las plantas en el sustrato PM+COM tendrán mayor supervivencia y establecimiento en campo, con mejor crecimiento y producción de *C. chinense*.

Factor hongo entomopatógeno. Con *P. lilacinum* se obtuvo el valor mayor en la relación BSA/BSR (6,55), en cambio el ILIG (18,87%), el IE (4,36) y el IDS (0,017) fueron superiores al utilizar el hongo *B. brongniartii* (Tabla V). La relación BSA/BSR muestra la interdependencia entre la raíz y la parte aérea de la plántula, y el equilibrio funcional entre las dos partes (Domínguez-Liévano y Espinosa-Zaragoza, 2021). De acuerdo con Muñoz-Flores *et al.* (2015) en plántulas forestales, la relación BSA/BSR con valor mayor a 2,5 presentarán un sistema de raíces bajo e insuficiente para sostener y proveer nutrientes a la parte aérea, por el mayor crecimiento aéreo con respecto al radical. Por lo tanto, una relación BSA/BSR lo más baja posible asegura mayor supervivencia de plántulas (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2020). En la presente investigación, las plántulas que se obtuvieron con *P. lilacinum* tendrían supervivencia menor que *B. brongniartii*. Resultados similares fueron reportados por Barajas-Méndez *et al.* (2022) en plantas de papaya con aplicaciones de *P. lilacinum*. El ILIG, IE e IDS hacen referencia a la calidad de plántula y al nivel de pre-acondicionamiento al campo, por especie y tratamiento (Rodríguez, 2008). En plántulas forestales, Muñoz-Flores *et al.* (2015) y Rodríguez (2008) señalan que, para obtener mejor crecimiento,

desarrollo y vigor de plántula, el valor de ILIG debe ser $\geq 11\%$, $\text{IE} \leq 6$ e $\text{IDS} \geq 0.5$ esto indica que se trata de plántulas con su fracción aérea y radicular en equilibrio. No obstante, Dickson *et al.* (1960) indican que el IDS es uno de los mejores y más complejos para determinar la calidad de las plantas, ya que integra todos los parámetros de los demás índices que se calcularon. Rodrigues-dos Santos *et al.* (2021) reportaron mayor calidad de plántula de *Anacardium occidentale* al aplicar aislados de *Trichoderma longibrachiatum*, lo atribuyeron al incremento en su índice de calidad de Dickson. Por lo tanto, de acuerdo a los resultados que se obtuvieron en el estudio la mayor calidad de plántulas de *C. chinense* se obtuvo con el inoculante *B. brongniartii*. Además, los valores de IE resultaron similares a los que reportaron Sosa-Pech *et al.* (2019) en plantas de *C. chinense*, con valores de 3,52 a 4,50, en cambio los valores de IDS (0,24 a 0,53) fueron inferiores en el trabajo de investigación.

Interacción sustrato x hongo entomopatógeno. De acuerdo a la Figura 4 la relación biomasa seca aérea/raíz de los tratamientos PM+COM x *B. brongniartii* (8,14), PM+COM x *P. lilacinum* (6,67), PM+CAS x *B. brongniartii* (7,95), PM+CAS x *P. lilacinum* (8,38), CAS x *B. brongniartii* (5,40) y CAS x *P. lilacinum* (8,31) presentaron la mayor interacción en contraste con los demás tratamientos, y superaron al testigo (4,37). En el índice de lignificación se presentó menor interacción entre los tratamientos en contraste con los demás índices de calidad; en este los tratamientos PM+COM x *B. brongniartii* (20,76%), PM+COM x *P. lilacinum* (21,21%) y COM+CAS x *B. brongniartii* (21,11%) destacaron por el valor mayor y fueron de valor superior al testigo (17,87%). Para el índice de esbeltez el tratamiento PM+COM x *B. brongniartii* (5,73), PM+COM x *P. lilacinum* (4,74) generaron la mayor interacción con respecto a CAS x *B. brongniartii* (3,18) y CAS

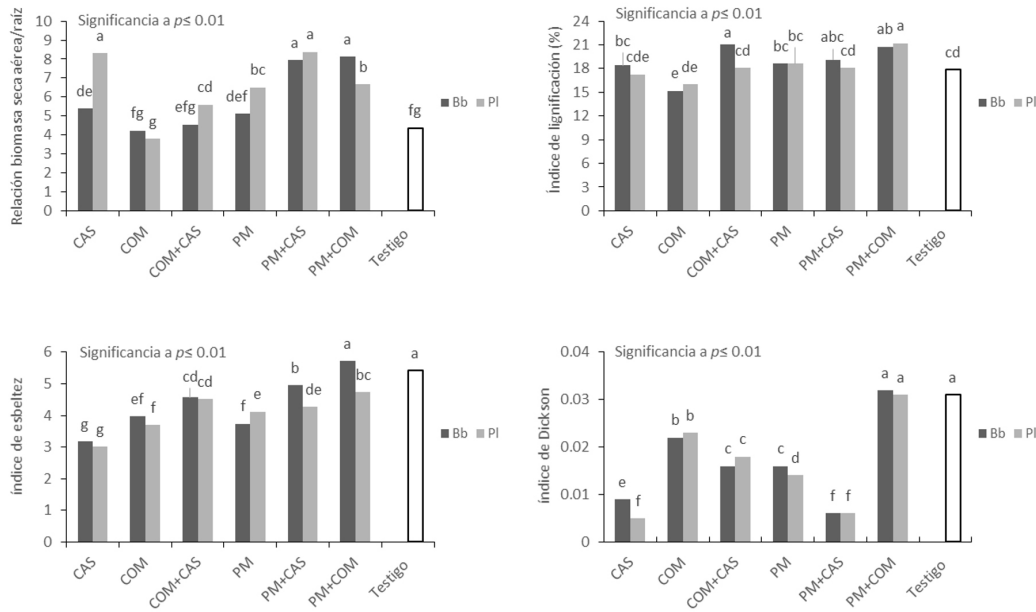


Figura 4. Interacción sustrato x hongo entomopatógeno en índices de calidad de plántulas de *C. chinense* 'Chichen Itzá'. CAS= cascarilla de arroz, COM= composta, PM= peat moss, Testigo= peat moss sin hongo entomopatógeno con solución de Steiner al 25%, Bb= *Beauveria brongniartii*, Pl= *Purpureocillium lilacinum*.

x *P. lilacinum* (3,02); sin embargo, solo el índice de esbeltez de PM+COM x *B. brongniartii* fue similar al del testigo (5,41). En el índice de Dickson el tratamiento PM+COM x *B. brongniartii* (0,032) y PM+COM x *P. lilacinum* (0,031) fueron los que obtuvieron el mayor valor, aunque fueron similares al testigo (0,031); sin embargo, para este índice se generó la mayor interacción con los tratamientos CAS x *B. brongniartii* (0,009), CAS x *P. lilacinum* (0,005), PM+CAS x *B. brongniartii* (0,006) y PM+CAS x *P. lilacinum* (0,006).

Respecto a la calidad de plántula, tomando de referencia los valores de los índices de calidad que sugieren Muñoz-Flores *et al.* (2015) y Rodríguez (2008) para especies forestales (relación biomasa seca aérea/raíz debe ser $\leq 2,5$, ILIG $\geq 11\%$, IE ≤ 6 e IDS $\geq 0,5$), esto dada la falta de índices específicos para plántulas de hortalizas, los resultados de los cuatro índices de calidad para chile habanero 'Chichen Itzá' indicaron que la mayor calidad de plántula la obtuvieron los tratamientos PM+COM

x *B. brongniartii* y PM+COM x *P. lilacinum*.

Los índices de calidad mencionados se han utilizado para evaluar la calidad de plantas en diversos cultivos, por ejemplo, en *Anacardium occidentale* (Rodríguez-dos Santos *et al.*, 2021), *C. chinense* (Sosa-Pech *et al.*, 2019) y *Cucumis sativus* (Lacerda-Medeiros *et al.*, 2018), quienes señalaron la importancia de aplicar estos índices de calidad, para tener una referencia más clara del comportamiento, resistencia y supervivencia de las plantas en campo.

Los resultados que se obtuvieron en el estudio demostraron el efecto benéfico del uso de sustratos alternativos en combinación con hongos entomopatógenos sobre el crecimiento y calidad en plántulas de chile habanero, por lo cual se recomienda su uso como una estrategia para obtener plántulas de calidad alta, y disminuir el uso del peat moss y los fertilizantes químicos.

Conclusiones

El uso de la mezcla peat moss (PM) + composta (COM) aumentó el crecimiento y

calidad de plántula de acuerdo a los índices de lignificación, de esbeltez y de Dickson, con respecto al resto de sustratos que se evaluaron. El hongo entomopatógeno *B. brongniartii* en semillas de *C. chinense* aumentó el porcentaje de germinación, y su aplicación en la etapa de plántula incrementó altura, número de hojas, biomasa seca, índice de clorofila, concentración de N y P, y calidad de plántula. Los tratamientos PM+COM x *B. brongniartii* y PM+COM x *P. lilacinum* obtuvieron los valores más altos en la mayoría de las variables de crecimiento de plántula e igualaron la calidad de esta con respecto a la que se obtuvo en el tratamiento peat moss, sin hongo, y con riego con la solución de Steiner al 25%, por lo que estas combinaciones se pueden implementar para reducir el uso del peat moss y la fertilización química en un 50% en la producción de plántulas de *C. chinense* 'Chichen Itzá'.

REFERENCIAS

Alcántar-González G, Sandoval-Villa M (1999) *Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación,*

análisis e interpretación. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. Chapingo, México. 156 pp.

Arias-Mota RM, Romero-Fernández AJ, Bañuelos-Trejo J, De la Cruz-Elizondo Y (2019) Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10:* 1747-1757.

Ávila-Flores I, Prieto-Ruiz JA, Hernández-Díaz JC, Wehenkel CA, Corral-Rivas JJ (2014) Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. mediante déficit de riego en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 20:* 237-245.

Barajas-Méndez KN, Toscano-Verduzco FA, Delgado-Salas CI, Chan-Cupul W, Sánchez-Rangel JC, Buenrostro-Nava MT, Manzo-Sánchez G (2022) Emergencia, crecimiento y calidad de planta de dos genotipos de papaya (*Carica papaya* L.) inoculadas con hongos entomopatógenos. *Scientia Agropecuaria 13:* 411-421.

Baron NC, Souza-Pollo A, Rigobelo EC (2020) *Purpureocillium lilacinum* and *Metarhizium marquandii* as plant growth-promoting fungi. *PeerJ 8:* 90-105.

Bastow-Wilson J (1988) Review of evidence on the control of shoot: root ratio, in relation to models. *Annals of Botany 61:* 433-449.

Carballo-Méndez FD, Rodríguez-Ortiz JC, García-Hernández JL, Alcalá-Jáuregui JA, Preciado-Rangel P, Rodríguez-Fuentes H, Villarreal Guerrero F (2017) Efecto de gallinaza y biosólido en mezcla con turba europea para producción de plántulas de cucurbitáceas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 49:* 193-202.

Cabanzo-Atilano I, Rodríguez-Mendoza MN, García-Cué JL, Almaraz-Suárez JJ, Gutiérrez-Castorena MC (2020) Biofertilization and nutrition in the development of serrano pepper seedlings. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11:* 699-712.

Chan-Cupul W, Juárez-González M, Ruiz-Sánchez E, Sánchez-Rangel JC, 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 de*

- Contaminación Ambiental 34: 281-295.
- Cruz-Crespo E, Can-Chulim A, Chan-Cupul W, Luna-Esquivel G, Rojas-Velázquez AN, Macilla-Villa OR (2023) Cascarilla de arroz fragmentada como componente del medio de crecimiento de plántulas de abahaca. *Biotechnia* 25: 52-59.
- Decker EL, Reski R (2020) Mosses in biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology* 61: 21-27.
- Dickson A, Leaf AL, Hosner IE (1960) Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36: 10-13.
- Domínguez-Liévano A, Espinosa-Zaragoza S (2021) Evaluación de sustratos alternativos en la germinación y crecimiento inicial de *Hymenaea courbaril* L. en condiciones de vivero. *Revista Forestal del Perú* 36: 107-117.
- Donoso E, Lobos GA, Rojas N (2008) Efecto de *Trichoderma harzianum* y compost sobre el crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* en vivero. *Revista Bosque* 29: 52-57.
- 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: 1069-1074.
- Galeote-Cid G, Cano-Ríos P, Ramírez-Ibarra JA, Nava-Camberos U, Reyes-Carrillo JL, Cervantes-Vázquez MG (2022) Comportamiento del chile Huacle (*Capsicum annuum* L.) con aplicación de compost y *Azospirillum* sp. en invernadero. *Terra Latinoamericana* 40: 1-12.
- Gamboa-Angulo J, Ruiz-Sánchez E, Alvarado-López C, Gutiérrez-Miceli F, Ruiz-Valdiviezo VM, Medina-Dzulk (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: 817-826.
- Harris-Valle C, Esqueda M, Valenzuela-Soto E, Castellanos A (2011) Tolerancia a sequía y salinidad en *Cucurbita pepo* var. pepo asociada con hongos micorrízicos arbusculares del desierto sonorense. *Agrociencia* 45: 959-970.
- Joshi DD, Somkuwar BG, Kharkwal H, Chander S (2022) Aroma based varieties of *Capsicum chinense* Jacq., geographical distribution and scope for expansion of the species. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 29: 100379.
- Krell V, Jakobs-Schoenwandt D, Vidal S, Patel AV (2018) Encapsulation of *Metarhizium brunneum* enhances endophytism in tomato plants. *Biological Control* 116: 62-73.
- Lacerda-Medeiros MC, Ibiapina-Jesus H, Alves-Santos NF, Silva-Melo MR, Quintela-Souza V, Silva-Borges LD, Celoto-Guerreiro A, Souza-Freitas L (2018) Índice de qualidade de Dickson e característica morfológica de mudas de pepino, produzidas em diferentes substratos alternativos. *Agroecosistemas* 10: 159-173.
- Li R, Shi F, Fukudak, Yang Y (2010) Effects of salt and alkali stresses on germination, growth, photosynthesis and ion accumulation in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Soil Science and Plant Nutrition* 56: 725-733.
- Luna-Fletes JA, Cruz-Crespo E, Can-Chulim A, Chan-Cupul W, Luna-Esquivel G, García-Paredes JD, Mancilla-Villa OR (2021) Producción de plántulas de chile habanero con fertilización orgánica y biológica. *Terra Latinoamericana* 39: 1-13.
- Macuphe N, Oguntibeju OO, Nchu F (2021) Evaluating the endophytic activities of *Beauveria bassiana* on the physiology, growth, and antioxidant activities of extracts of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plants* 10: 1178.
- Mello BFF, Trevisan MV, Steiner F (2016) Quality of cucumber seedlings grown in different containers. *Revista de Agricultura Neotropical* 3: 33-38.
- Meneses-Lazo RE, Garraña R (2020) El cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) como modelo de estudio en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23: 1-17.
- Mitran T, Meena RS, Lal R, Layek J, Kumar S, Datta R (2018) Role of Soil Phosphorus on Legume Production. *Legumes for Soil Health and Sustainable Management* 1: 487-510.
- Monsalve-Camacho OI, Henao-Toro MC, Gutiérrez-Díaz JS (2021) Caracterización de materiales con uso potencial como sustratos en sistemas de cultivo sin suelo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 22: e1977.
- Moreno-Salazar R, Sánchez-García I, Chan-Cupul W, Ruiz-Sánchez E, Hernández-Ortega HA, Pineda-Lucatero J, Figueroa-Chávez D (2019) Plant growth, foliar nutrition content and fruit yield of *Capsicum chinense* biofertilized with *Purpureocillium lilacinum* under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae* 261: 108-950.
- Muñoz-Flores HJ, Sáenz-Reyes JT, Coria-Avalos VM, García-Magaña JJ, Hernández-Ramos J, Manzanilla-Quijada GE (2015) Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6: 72-89.
- Nava-Pérez E, Valenzuela-Quiñónez W, Rodríguez-Quiroz G (2019) El vermicompost como sustrato sustituto en la germinación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agrociencia* 53: 869-880.
- Negrete-González D, Avalos-Chávez D, Lezama-Gutiérrez R, Chan-Cupul W, Molina-Ochoa J, Galindo-Velasco E (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.
- Pineda-Ojeda T, Flores-Ayala E, Flores A, Buendía-Rodríguez E, Guerra-De la Cruz V, Islas-Gutiérrez F (2020) Seedling quality from six *Pinus* species produced in polyethylene bag. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11: 165-174.
- Restrepo-Correa SP, Pineda-Meneses EC, Ríos-Osorio LA (2017) Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 18: 335-351.
- Rodríguez-Ortiz G, Aragón-Peralta RD, Enríquez-del Valle JR, Hernández-Hernández A, Santiago-García W, Campos-Angeles GV (2020). Calidad de plántula de progenies selectas de *Pinus pseudostrabus* Lindl. var. oaxacana del sur de México. *Interciencia* 45: 96-101.
- Rodrigues-dos Santos JM, Kenji-Taniguchi CA, Bruce-da Silva CF, Natale W, Guirado-Artur A (2021) Trichoderma in the promotion of growth and nutrition of dwarf cashew rootstock. *Revista Ciência Agronômica* 52: e20207697.
- Rodríguez TDA (2008) *Indicadores de Calidad de Planta Forestal*. Mundi-Prensa. D.F, México. 156 pp.
- Rymuza K, Radzka E (2021) Effect of pH levels on soybean seed germination dynamics. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura* 20: 81-88.
- Santner A, Calderón-Villalobos LIA, Estelle M (2009) "Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth". *Nature Chemical Biology* 5: 301-307.
- SIAP (Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera) (2021) Estadística Básica. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Cons. 20/01/2023).
- Sosa-Pech M, Ruiz-Sánchez E, Tun-Suárez JM, Pinzón-López LL, Reyes RA (2019) Germinación, crecimiento y producción de glucanas en *Capsicum chinense* Jacq. Inoculadas con *Bacillus* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6: 137-143.
- Steiner AA (1984) The Universal Nutrient Solution. *Proceeding Sixth International Congress on Soilless Culture*. Wageningen. Países Bajos. pp. 633-650.
- Taiz L, Zeiger E (2004) *Fisiología Vegetal*. 3 Ed, Porto Alegre: Artmed, Brasil. 719 pp.
- Toscana-Verduzco FA, Cedeño-Valdivia PA, Chan-Cupul W, Hernández-Ortega H, 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: 235-246.
- Viera W, Noboa M, Bermeo J, Báez F, Jackson T (2018) Parámetros de calidad de cuatro tipos de formulaciones a base de *Trichoderma asperellum* y *Purpuricillium lilacinum*. *Enfoque UTE* 9: 145-153.
- Yu YY, Li SM, Qiu JP, Li JG, Luo YM, Guo JH (2019) Combination of agricultural waste compost and biofertilizer improves yield and enhances the sustainability of a pepper field. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 182: 560-569.
- Zanin G, Bassan A, Sambo P, Evans MR (2011) Rice hulls and peat replacement in substrates for vegetable transplant production. *Acta Horticulturae* 893: 963-970.