



Hongos micorrízicos arbusculares y biochar en el crecimiento de tomatillo en invernadero †

[Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar on tomatillo growth under greenhouse conditions]

Luis López-Pérez¹, Lizbeth Vázquez-Lezama², Darío Flores-Murillo³
and Alfredo Reyes-Tena*¹

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Km 9.5 carretera Morelia-Zinapécuaro, 58880, Tarímbaro, Michoacán, México. Email: alfredo.reyes@umich.mx

²Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. Francisco J. Mújica S/N, 58030, Morelia, Michoacán, México.

³Instituto Tecnológico del Valle de Morelia. Km 6.5 carretera Morelia-Salamanca, 58100, Tarímbaro, Michoacán.

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Tomatillo (*Physalis ixocarpa*) production in Mexico requires the search for sustainable fertilization alternatives. In this regard, biochar helps retain water and mineral nutrients, while arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) enhance the uptake of these nutrients, making them potentially viable strategies to reduce the use of synthetic fertilizers. **Objective:** To evaluate the application of biochar and the inoculation of AMF on tomatillo growth. **Methodology:** A completely randomized experiment was designed, evaluating three percentages of biochar in the substrate (0%, 2.5%, and 5% v/v) and three AMF inocula: two native consortia from agricultural soils in Michoacán ("El Huizachal" and "El Limón"), and one commercial AMF composed of *Rhizophagus intraradices* and *Glomus fasciculatum*. Nine treatments were generated with eight replications, for a total of 72 experimental units. The dynamics of plant growth were recorded weekly by measuring plant height, number of leaves, and stem diameter. At 60 days after transplanting, the plants were harvested, and the growth parameters as well as microbiological variables were recorded. **Results:** A significant effect of the evaluated factors was found ($p < 0.05$); biochar at 2.5% and 5% and the commercial AMF promoted stem diameter, aerial fresh weight, and total fresh weight. In the interaction of factors, the combination of commercial AMF with 5% biochar recorded the highest values for leaf area, root dry weight, and total dry weight. On the other hand, the treatment with 2.5% biochar combined with the "El Limón" consortium significantly increased ($p < 0.05$) stem diameter, root and total fresh weight, number of flowers, and root volume and length. The results showed that biochar negatively affected the formation of mycorrhizal symbiosis by reducing AMF colonization and spore number by 72% and 60%, respectively. **Implications:** The synergy between AMF and biochar depends on the compatibility of the inoculum used and the dose or source of biochar applied. **Conclusions:** The promotion of tomatillo plant growth depends on the type of mycorrhizal inoculum species and the concentration of biochar in the substrate. This suggests that the use of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi can improve plant performance while contributing to more sustainable agricultural practices.

Key words: *Physalis ixocarpa*; Plant-derived biochar; *Rhizophagus intraradices*; *Glomus fasciculatum*.

RESUMEN

Antecedentes: La producción de tomatillo (*Physalis ixocarpa*) en México requiere de alternativas de fertilización sostenibles. En este sentido, el biochar ayuda a la retención de agua y nutrientes minerales y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) mejoran la adquisición de estos elementos, por lo que podrían ser estrategias viables para reducir el uso de fertilizantes sintéticos. **Objetivo:** Evaluar la aplicación de biochar y la inoculación de HMA en el crecimiento del tomatillo. **Metodología:** Se diseñó un experimento completamente al azar, en el cual se evaluaron tres porcentajes de biochar en el sustrato (0%, 2.5% y 5% v/v) y tres HMA: dos consorcios nativos de suelos agrícolas de Michoacán ("El Huizachal" y "El Limón"), y un HMA comercial compuesto por *Rhizophagus intraradices* y *Glomus fasciculatum*. Se generaron nueve tratamientos con ocho repeticiones para un total de 72 unidades experimentales. Se registró la

† Submitted June 3, 2025 – Accepted September 15, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6439>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

dinámica del crecimiento vegetal mediante el registro de la altura de planta, número de hojas y diámetro del tallo semanalmente. A los 60 días después del trasplante, se cosecharon las plantas y se registró el crecimiento alcanzado, así como variables microbiológicas. **Resultados:** Se encontró efecto significativo de los factores evaluados ($p < 0.05$); el biochar al 2.5% y al 5%, así como el HMA comercial, promovieron el diámetro del tallo, peso fresco aéreo y el total. En la interacción de factores, la combinación de HMA comercial con el 5% de biochar, registró los valores más altos de área foliar, peso seco de la raíz y total. El tratamiento de biochar al 2.5% con el consorcio “El Limón”, promovió un aumento significativo ($p < 0.05$) en el diámetro del tallo, peso fresco radicular y total, número de flores, volumen y longitud radicular. Las variables microbiológicas mostraron que el biochar disminuyó la colonización y el número de esporas de HMA en un 72 y 60% respectivamente. **Implicaciones:** La sinergia de HMA y biochar depende de la compatibilidad del inóculo empleado y la dosis o fuente de biochar utilizada. **Conclusiones:** la promoción del crecimiento de plantas de tomatillo depende de la composición de especies del inóculo micorrízico y la concentración de biochar en el sustrato. Esto sugiere que el uso de biochar y hongos micorrízicos arbusculares puede mejorar el rendimiento de las plantas y, al mismo tiempo, contribuir a prácticas agrícolas más sostenibles.

Palabras clave: *Physalis ixocarpa*; biocarbón vegetal, *Rhizophagus intraradices*; *Glomus fasciculatum*.

INTRODUCCIÓN

El tomatillo (*Physalis ixocarpa*), también conocido como tomate verde o tomate de cáscara, es una hortaliza de importancia económica en México, destacando Sinaloa, Zacatecas y Jalisco con el 42.6% de la producción nacional (SIAP, 2025). Históricamente, *P. ixocarpa* ha tenido un valor etnobotánico importante en la cultura mexicana, se ha utilizado con fines culinarios, medicinales, ceremoniales, industriales y ornamentales (Cruz-Koizumi, 2015). Para aumentar la productividad de su cultivo, los agricultores suelen aplicar fertilizantes químicos para proporcionar los nutrientes necesarios y obtener altos rendimientos. Sin embargo, el uso prolongado de estos productos tiene un impacto negativo en la calidad del suelo, causando degradación estructural, desequilibrios de pH, reducción de la fertilidad y alteraciones en las comunidades microbianas (Aguñaga-Bravo *et al.*, 2020; Pahalvi *et al.*, 2021). Esta degradación ha impulsado la búsqueda de alternativas agroecológicas sostenibles, entre ellas se encuentra la aplicación de insumos orgánicos como las compostas, el estiércol y los abonos verdes, los cuales no solo aportan nutrientes, sino que también mejoran la calidad del suelo y el establecimiento de microorganismos benéficos (Singh *et al.*, 2020). Un insumo orgánico de interés reciente es el biochar (o biocarbón), un material similar al carbón vegetal producido por pirólisis de biomasa vegetal (Wang y Wang, 2019). Su alta afinidad para la retención de nutrientes mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo, reduciendo la necesidad de fertilizantes sintéticos (Osco-Tarqui *et al.*, 2021). Su estructura porosa y la alta fuente de carbono también podrían ayudar a mantener la fertilidad del suelo, creando un hábitat ideal para el establecimiento de hongos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Palansooriya *et al.*, 2019). Por otro lado, el biochar podría mitigar los problemas asociados con un manejo deficiente del agroecosistema, como la pérdida de materia orgánica, salinización, acidificación,

compactación del suelo y contaminación por agrotóxicos (Sánchez-Monedero *et al.*, 2018). Además, su forma recalcitrante de carbono actúa como un almacén, evitando su liberación como dióxido de carbono a la atmósfera (Zheng *et al.*, 2022). A pesar de estos beneficios, el biocarbón aún no se ha adoptado ampliamente en la agricultura mexicana (Escalante-Rebolledo *et al.*, 2016). Los beneficios que se le confieren al biochar dependen en gran medida de la fuente de materia orgánica utilizada y a las condiciones de la pirólisis para su obtención, entre otros. Por lo cual, no todos los biochar actuarán de la misma manera en el suelo y su interacción con los microorganismos podría variar (Luo *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2024).

Otra herramienta agroecológica empleada para mejorar el aprovechamiento de los nutrientes del suelo por las plantas es el uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA); estos microorganismos del suelo viven simbióticamente con las raíces de la mayoría de las plantas vasculares (Corradi y Bonfante, 2012). Esta simbiosis es específica de un grupo limitado de hongos del filo Glomeromycota, muy abundantes en el suelo; estos hongos dentro de la raíz de la planta forman una hifa ramificada llamada arbusculo, donde se lleva a cabo el intercambio de nutrientes, principalmente la absorción de fosfatos y agua hacia la planta y carbohidratos hacia el hongo (Willis *et al.*, 2013). Básicamente, los HMA actúan como una extensión del sistema radicular de la planta, mejorando la captación de agua y nutrientes. Los HMA también segregan glomalina, una glicoproteína que promueve la formación de agregados de suelo, mejorando la estructura edáfica, la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes minerales (Barrer, 2009). Además, los HMA pueden aumentar la tolerancia de los cultivos a la salinidad al mejorar la captación de N, P, K y agua, incrementar la biomasa radicular y eficiencia fotosintética (Dastogeer *et al.*, 2020). Por otro lado, los HMA se han empleado en sistemas agrícolas mediante el uso de productos comerciales a base de esporas o aislando y propagando hongos

nativos (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2016). Sin embargo, los inoculantes comerciales con frecuencia presentan dificultades para adaptarse a las condiciones ambientales locales. Por lo tanto, el uso de HMA nativos podría otorgar mayores beneficios para las plantas inoculadas, además de que pueden propagarse a partir de suelos cultivados utilizando macetas trampa (Barrer, 2009; Selvakumar *et al.*, 2016).

En el caso particular del cultivo de tomatillo, existen pocos trabajos que evalúen el uso de bioinsumos y fertilizantes orgánicos para aumentar la productividad. En un estudio realizado por Cruz-Koizumi (2015), se comparó la fertilización orgánica que consistió en la aplicación de lombricomposta y lixiviado de lombricomposta, con la fertilización química y un control sin fertilizante en suelos agrícolas de Calakmul, Chiapas, México; donde se reportó que la fertilización orgánica tuvo una productividad similar a la fertilización química, al tiempo que incrementaba la diversidad y presencia de estructuras micorrízicas en el suelo. Por otro lado, Avilés-Avilés (2015) evaluó el uso de composta, fertilizante sintético, vermicomposta y un control en condiciones de campo abierto, reportando que la composta y la vermicomposta aumentaron significativamente el número de frutos y el rendimiento en 29% y 35% respectivamente con respecto al control, lo que sugiere un beneficio directo en la calidad, peso y tamaño del fruto. Con respecto a la aplicación de biochar en tomatillo existen también escasos reportes, resalta el estudio realizado por Cruz-Méndez *et al.* (2021), quienes evaluaron el uso de biochar de bambú al 0.2% mejorando las características físicas y químicas del suelo, principalmente la capacidad de intercambio catiónico, y el contenido de materia orgánica, P, Fe y Cu; además de inducir resistencia contra *Leveillula taurica*, patógeno causante de la cenicilla. Por su parte, Molina-Montenegro, (2013) estudió el crecimiento de *Physalis peruviana* (un pariente cercano del tomatillo) con biochar, donde la aplicación de 3.5 ton/ha de biochar resultó en mayor biomasa foliar y floración que dosis más altas de biochar, humus orgánico o el control. Finalmente, Gallo-Saravia *et al.* (2018) investigaron el uso de biochar de madera de pino y cáscara de arroz en *P. ixocarpa* var. Milano tropic donde el biochar al 20% y 50% promovió una mayor floración, mientras que al 20% aumentó la producción de frutos. Sin embargo, proporciones del 80% y 100% de biochar mostraron síntomas de deficiencia de nutrientes, reduciendo el crecimiento. Debido a que el uso del biochar como mejorador del suelo es relativamente reciente, la información sobre su aplicación combinada con HMA es limitada. Por lo anterior, en este trabajo se planteó como objetivo evaluar el efecto de la inoculación de HMA y la adición de biochar en el crecimiento de plantas de tomatillo bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se realizó en un invernadero plastificado tipo cenital perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), localizado en Tarímbaro, Michoacán, México en las coordenadas 19° 45' 9.52" LN, 101° 09' 16" LO, a 1900 msnm. La temperatura máxima registrada durante el experimento fue de 43 °C y la mínima de 20 °C, y humedad relativa entre 20 y 50%.

Material vegetal

Se usaron plántulas de tomatillo, para lo cual se germinaron semillas comerciales (Happy flower®), en charolas de 72 cavidades de 42 cm³ con turba estéril como sustrato de germinación. Las semillas se colocaron en un pozo de 1 cm de profundidad con 10 mm de diámetro, posteriormente se cubrió con el sustrato correspondiente y se realizaron riegos con agua desionizada cada 48 horas. Cuando las plántulas tuvieron dos hojas verdaderas, se trasplantaron a macetas flexibles de 6" (Matec®), las cuáles contenían 1 kg de suelo esterilizado en autoclave a 90 °C por 72 h, obtenido de una parcela agrícola localizada en Copándaro de Galeana, Michoacán. El suelo utilizado fue un vertisol, con una conductividad eléctrica (CE) de 1.68 dS/m, pH de 7.53, densidad aparente (Dap) de 1.06 g/cm³, capacidad de campo (CC) de 37.40% y 116.57 ppm de fósforo (P) (Rubio-Marcos, 2024). Todas las plantas se regaron cada 48 horas con alrededor de 200 mL de agua desionizada.

Material microbiológico

Para el experimento se evaluaron tres tipos de HMA: dos consorcios nativos de suelos agrícolas de Villa Madero, Michoacán: El Huizachal (HMA-HZ) que está conformado por los géneros *Archaespora*, *Acaulospora*, *Claroideoglossum*, *Diversispora*, *Entrophospora*, *Funneliformis*, *Septoglossum*, *Rhizophagus* y *Scutellospora*. El Limón (HMA-LM) el cual contiene HMA pertenecientes a los géneros *Archaespora*, *Acaulospora*, *Claroideoglossum*, *Entrophospora*, *Funneliformis* y *Glomus* (Trinidad-Cruz *et al.*, 2017). Estos consorcios pertenecen al Laboratorio de Ecofisiología Vegetal del IIAF-UMSNH (López-Pérez *et al.*, 2024). Y se evaluó un control comercial (HMA-TC) compuesto a base de esporas de *Rhizophagus intraradices* y *G. fasciculatum*, producidos por Huertos Urbanos Michoacán. Se inoculó una cantidad de 80 esporas por inóculo micorrízico contenidas en 2 gramos del producto (1 gramo contiene 40 esporas).

Biochar

El biochar fue elaborado a partir de biomasa vegetal del bagazo de agave utilizado para la elaboración de mezcal (*Agave cupreata*). Sus propiedades fisicoquímicas fueron: conductividad eléctrica de 1.92 dS/m; pH de 8.5; 0.16 mEq/L de nitrógeno total, 0.64 mEq/L de fosfatos, 16.7 mEq/L de potasio, 0.67 mEq/L de micronutrientes y 75.8% de materia orgánica vegetal (Rubio-Marcos, 2024).

VARIABLES DE RESPUESTA

De crecimiento acumulado

A partir del trasplante, cada siete días y hasta el final del experimento, se registró la altura de la planta (AP) colocando una cinta métrica desde la base del tallo hasta la yema apical y el número de hojas (NH), las cuales se determinaron por conteo directo.

De crecimiento al final del experimento

A los 60 días después del trasplante, se registró el diámetro del tallo (DT), con un vernier digital ± 0.01 ; posteriormente se realizó un muestreo destructivo, en donde se registró el área foliar (AF) en cm^2 , la cual se determinó por medio de un planímetro LI-COR modelo 3100C; el peso fresco aéreo y radical (PFA y PFR) con balanza analítica PR80002; volumen de la parte radicular (VR): se determinó por medio de volumen desplazado; longitud de la raíz (LR): se determinó utilizando una regla graduada de 30 cm para medir la raíz más larga de cada planta. Para determinar las variables de peso seco de la parte aérea y la parte radicular de las plantas (PSA y PSR), se colocaron en un horno a una temperatura de 55°C durante 5 días consecutivos. Posteriormente, el peso seco aéreo, radical y total se registró en una balanza analítica.

Contenido de NO_3^- y K^+ en savia foliar

Para determinar las concentraciones de nitratos y potasio en la savia foliar, se seleccionaron las dos últimas hojas completamente desarrolladas de cada planta. Posteriormente, se colocaron en un tubo Eppendorf® de 2 mL y se almacenaron en un congelador a -20°C por una semana. Para extraer la savia vegetal, los tubos con el tejido vegetal se descongelaron y se centrifugaron a 5,000 r.p.m. por 10 min. Para estimar el contenido de nitrógeno se utilizó un ionómetro de nitratos HORIBA LAQUAtwin NO_3^- 11C; y para el potasio, el modelo HORIBA LAQUAtwin K-11.

VARIABLES MICROBIOLÓGICAS

Se registró el número de esporas de HMA (NESP), con la técnica descrita por Gerdemann y Nicolson (1963), con ligeras modificaciones. Las cuales consistieron en la recolecta del sustrato de las plantas, el cual se homogenizó por tratamiento. Posteriormente, se tomó una muestra de 50 gramos la cual se colocó dentro de un vaso de precipitado con 1 L de agua desionizada y se agitó por 3 min utilizando una espátula plana. Se dejó en reposo durante tres minutos para que se sedimentaran las partículas de suelo/arena. Luego, la suspensión se pasó a través de tamices colocados de la siguiente manera: 600, 150 y $45\ \mu\text{m}$ de abertura de poro. El contenido retenido en el tamiz de $45\ \mu\text{m}$ se lavó con una piseta y se depositó en un papel filtro, el cual se colocó en un microscopio estereoscópico donde se observaron y contaron el número de esporas con un contador manual de 4 dígitos (PRETUL, CON-10M). Para determinar la colonización micorrízica en las raíces de las plantas (CMIC), se utilizó la técnica de clareo y tinción de Phillips y Hayman, (1970) con modificaciones, las cuales consistieron en cortar muestras de raíz de 2 cm de cada tratamiento y se colocaron en casetes para biopsia, los cuales sirvieron para someter las raíces a un proceso de clarificación con hidróxido de potasio al 10% (KOH) en ebullición durante 2 min, luego se enjuagaron con agua de la llave. Posteriormente se colocaron en ácido clorhídrico (HCl) por 15 min, se enjuagaron nuevamente y se sumergieron en agua oxigenada durante 5 min. Finalmente se tiñeron con azul de tripano al 0.05% en un vaso precipitado en ebullición por 2.5 min. Después de un enjuague final con agua desionizada, se montaron 30 transectos de 1 cm en un portaobjetos. Los portaobjetos montados se observaron bajo un microscopio óptico para la evaluación a 40x de la presencia de micorrización mediante el registro de estructuras micorrízicas tales como vesículas, arbusculos, micelio y esporas.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño experimental bifactorial, donde se evaluó el factor HMA con tres niveles (HZ, LM y TC), y el factor biochar con tres dosis (0%, 2.5% y 5%), las cuales han resultado eficaces en reportes sobre otras especies vegetales (López-Pérez *et al.*, 2024; Rivera-García *et al.*, 2025). Lo cual resultó en nueve tratamientos con ocho repeticiones para un total de 72 unidades experimentales colocadas completamente al azar en mesas dentro del invernadero. Cada unidad experimental consistió en una maceta con una planta de tomatillo. Se realizaron análisis de varianza factoriales para evaluar el efecto simple de los factores y su interacción; se realizaron pruebas de comparación múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$) para observar diferencias entre factores e interacciones. Los análisis

estadísticos se realizaron utilizando el software Statgraphics Centurión 16.103 (2013).

RESULTADOS

Variables de crecimiento acumulado

En las variables de crecimiento acumulado registradas al final del experimento (AP y NH), no se encontró un efecto significativo entre los factores evaluados ($P > 0.05$), durante las primeras cinco semanas después del trasplante. A partir de la sexta semana, se encontró un efecto altamente significativo ($P \leq 0.05$) entre los

tratamientos, donde la dosis de biochar al 2.5% con el HMA comercial (TC) registró mayor altura de la planta, seguido del tratamiento de biochar al 0% con TC (Figura 1a). Mientras que en la variable de número de hojas (Figura 1b), la dosis de biochar al 2.5% con HMA-LM registró la mayor cantidad de hojas comparada con los tratamientos donde se colocó biochar al 5%, el cual presentó una tendencia a disminuir los valores de crecimiento acumulado en ambas variables evaluadas. En ambas gráficas, hacia el final del experimento, se observó una disminución del crecimiento al adicionar biochar al 5% independientemente del inóculo micorrízico utilizado.

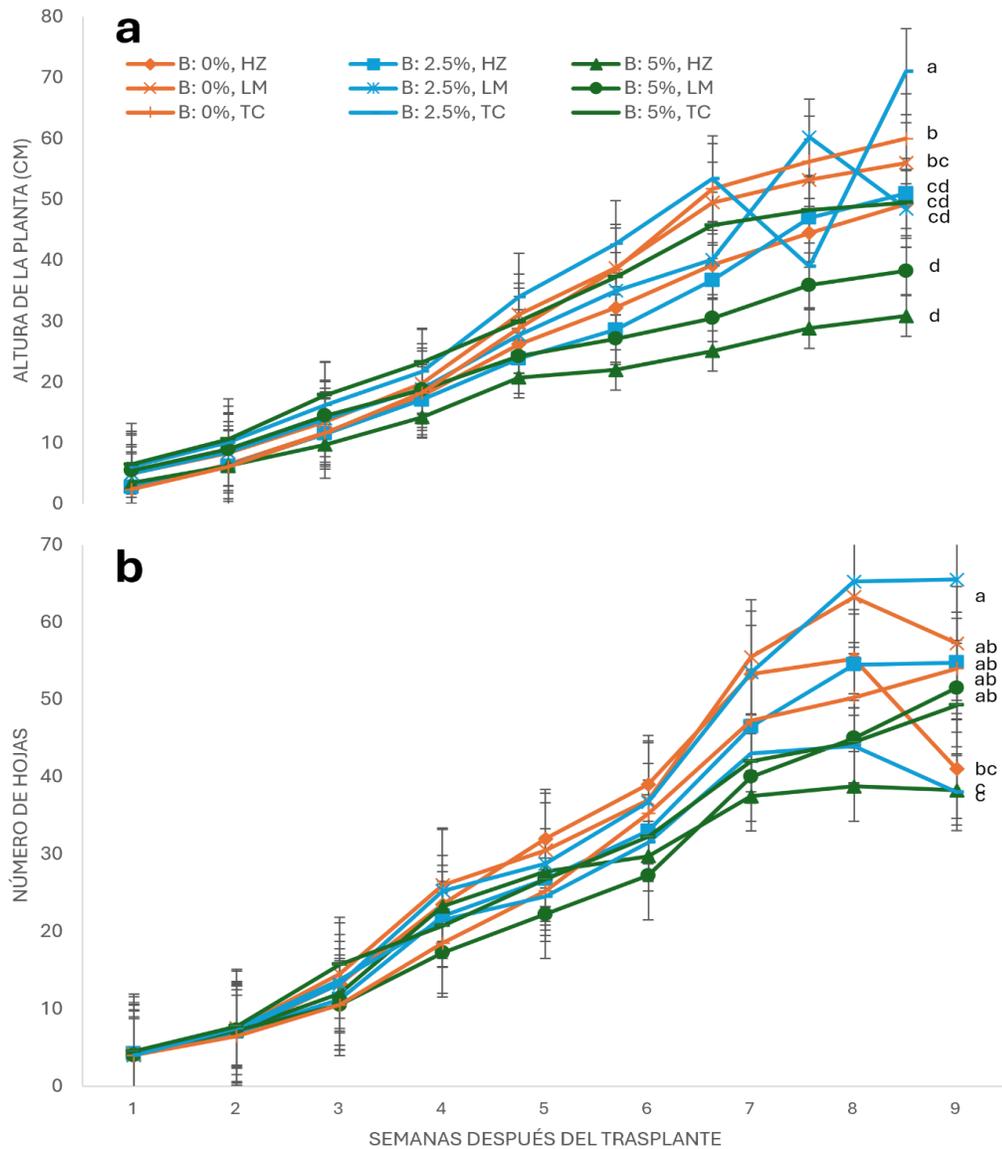


Figura 1. Variables de crecimiento acumulado registradas durante el desarrollo del experimento hasta los 60 días del trasplante (\pm EE, error estándar): a) altura de planta (EE = 4.02); b) número de hojas (EE = 10.61). Letras diferentes al final de las líneas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. HZ: El Huizachal, LM: El Limón, TC: Testigo Comercial y B: Biochar.

Variables evaluadas al final del experimento

En las variables registradas al final del experimento, se encontró efecto significativo para DT, PFT, PFA, PST, NO₃⁻, CMIC y NESP por el factor biochar; y por el

factor HMA, las variables PFT, PFA, PST, PSA y K⁺. En el caso de la interacción de factores las variables que resultaron significativas fueron PFT, PST, K⁺, CMIC y NESP (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de varianza por factor e interacción de las variables evaluadas al final del experimento.

Factor	Variable	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor F	Significancia
Biochar (B)	DT	5.41387	2	2.70694	6.53	0.0041
	NF	30.3889	2	15.1944	1.16	0.3270
	PFT	340.586	2	170.293	4.58	0.0178
	PFA	209.575	2	104.788	5.59	0.0083
	PFR	11.7763	2	5.88814	0.87	0.4267
	PST	4.23626	2	2.11813	3.43	0.0443
	PSA	1.58721	2	0.793607	2.46	0.1012
	PSR	0.640814	2	0.320407	1.92	0.1622
	LR	86.7917	2	43.3958	1.67	0.2043
	VR	9.59722	2	4.79861	0.58	0.5658
	AF	2760.88	2	1380.44	0.58	0.5669
	NO ₃ ⁻	635267.	2	317633.	4.71	0.0188
	K ⁺	379400.	2	189700.	1.18	0.3237
	CMIC	846.914	2	423.457	13.50	0.0001
HMA	NESP	42824.1	2	21412.0	55.94	0.0000
	DT	0.0737389	2	0.0368694	0.06	0.9381
	NF	37.429	2	18.7145	1.84	0.1746
	PFT	360.047	2	180.024	4.94	0.0135
	PFA	172.056	2	86.0278	3.66	0.0368
	PFR	18.258	2	9.12899	1.40	0.2617
	PST	8.67984	2	4.33992	8.99	0.0008
	PSA	4.5071	2	2.25355	9.61	0.0005
	PSR	0.685755	2	0.342878	2.07	0.1417
	LR	92.375	2	46.1875	1.79	0.1834
	VR	8.01389	2	4.00694	0.48	0.6224
	AF	1617.4	2	808.701	0.33	0.7188
	NO ₃ ⁻	87316.7	2	43658.3	0.48	0.6223
	K ⁺	3.2414E6	2	1.6207E6	39.39	0.0000
B x HMA	CMIC	180.247	2	90.1235	1.52	0.2383
	NESP	1422.3	2	711.148	0.34	0.7170
	DT	2.01186	4	0.502965	1.17	0.3451
	NF	38.1111	4	9.52778	0.77	0.5512
	PFT	280.717	4	70.1792	2.76	0.0491
	PFA	142.778	4	35.6944	2.02	0.1199
	PFR	52.8346	4	13.2086	2.38	0.0781
	PST	3.28657	4	0.821643	2.64	0.0458
	PSA	1.322	4	0.3305	1.85	0.1488
	PSR	1.457	4	0.364249	2.93	0.0391
	LR	69.0833	4	17.2708	0.67	0.6194
	VR	66.6111	4	16.6528	2.26	0.0886
	AF	22420.5	4	5605.12	2.76	0.0581
	NO ₃ ⁻	323133.	4	80783.3	1.20	0.3430
K ⁺	396800.	4	99200.0	8.45	0.0005	
CMIC	276.543	4	69.1358	4.20	0.0142	
NESP	6393.26	4	1598.31	20.99	0.0000	

DT: Diámetro, PFA: Peso fresco aérea, PFR: Peso fresco raíz, PFT: Peso fresco total, VR: Volumen radicular, LR: Longitud de la raíz, AF: Área foliar, PSA: Peso seco de la parte aérea, PSR: Peso seco de la raíz, PST: Peso seco total, NF: Número de flores, NO₃⁻: Contenido de nitratos en folíolos, K⁺: Contenido de potasio en folíolos, CMIC: colonización micorrízica, NESP: número de esporas de HMA.

El efecto del biochar sobre las variables microbiológicas evaluadas al final del experimento, mostró una disminución en CMIC y NESP. Donde a medida que se incrementó la concentración de biochar en el sustrato, disminuyeron los valores de las variables mencionadas (Figura 2a). Esta disminución fue significativa cuando se utilizaron los inóculos nativos y en promedio disminuyó un 100%; en el caso del inóculo comercial, la disminución en la colonización micorrízica resultó no significativa y en promedio la colonización fue del 14%.

Para el número de esporas se encontró una disminución cuando se incrementó la concentración del biochar, solo que en esta variable el tipo de inóculo no modificó la disminución y en promedio la cantidad de esporas se redujo un 90% (Figura 2b).

Los resultados del efecto de los factores de forma individual sobre las variables de DT, PFA y PFT mostraron que los tratamientos con biochar al 2.5% registraron una tendencia a presentar valores más altos que los tratamientos con biochar al 0% y 5% (Figura 3). Al analizar el efecto del factor HMA se encontró que el inóculo comercial registró mayores valores en las variables de PFA, PFT, PSA, PST, aunque estadísticamente fue similar al consorcio LM (Figura 4). En cuanto a la concentración de K^+ , el inóculo HMA-LM con biochar al 5% registró la mayor cantidad acumulada en el tejido vegetal con 2150 ppm.

Por otro lado, al analizar el efecto de las variables de crecimiento por la interacción entre factores (Tabla 2), la combinación de biochar al 5% con el inóculo comercial y biochar al 2.5% con el consorcio LM, registraron una tendencia a promover el crecimiento en la mayoría de las variables evaluadas, aunque fueron estadísticamente similares a varios tratamientos donde se inocularon los HMA sin biochar. Por otro lado, la concentración de NO_3^- se incrementó 76.13% en el tratamiento con biochar al 5% inoculado con el consorcio HZ, seguido del tratamiento con biochar al 5% y el inóculo comercial. En cuanto a la concentración de K^+ hubo un incremento del 128.72% al combinar biochar al 5% con el consorcio LM, esto refleja que la adición de biochar al 5% en el sustrato en combinación con consorcios de HMA podría favorecer la adquisición de nitratos y potasio por la planta.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio mostraron efectos distintos en el crecimiento de las plantas de tomatillo influenciados directamente por la combinación específica de dosis de biochar y el tipo de HMA utilizados. Esta variabilidad refleja la complejidad de las interacciones entre sustrato x planta x biochar x

microorganismos, y la necesidad de buscar la mejor combinación para maximizar los beneficios agronómicos (Manoharan *et al.*, 2017; Gu *et al.*, 2021; Djotan *et al.*, 2024). A pesar de la ausencia de especificidad de los HMA, se ha reportado de forma consistente que su eficacia simbiótica varía en función de la especie de planta hospedante con la que se asocian (Sanders, 2002; Montesinos-Navarro *et al.*, 2012; Koziol y Bever, 2016; Grünfeld *et al.*, 2021). Este fenómeno, conocido como especificidad funcional, no implica un reconocimiento a nivel de especie, sin embargo, permite la optimización de la transferencia de recursos entre el HMA y la planta (d'Entremont y Kivlin *et al.*, 2023). Esta simbiosis funcional entre los HMA y la planta implica la transferencia de los nutrientes hacia la planta inclusive a bajos porcentajes de colonización (Duan *et al.*, 2011); contrario a los efectos de parasitismo que se han reportado en casos donde en los HMA consumen carbohidratos vegetales, pero no aportan nutrientes a la planta al estar fácilmente disponibles en suelo (Purin y Rillig, 2008), en algunos reportes esto sucede en condiciones de alta colonización micorrízica (Friede *et al.*, 2016). En el presente trabajo, *P. ixocarpa* mostró bajos porcentajes de colonización micorrízica, lo que sugiere que podría no ser una especie altamente micotrófica o bien, que las condiciones del experimento limitaron el establecimiento de la simbiosis (Yang *et al.*, 2017), lo anterior podría explicarse debido a que los consorcios nativos se aislaron de andosoles ácidos los cuáles registraron un pH entre 5.2 y 5.7 (Trinidad-Cruz *et al.*, 2017) entonces, al entrar en contacto con el biochar que tiene un pH alcalino y una conductividad eléctrica alta (8.85 dS/m) disminuyeron su capacidad de crecimiento y establecimiento en el sustrato y la raíz, contrario al inóculo comercial en el cual la colonización micorrízica no se afectó de forma significativa, lo cual sugiere que se aislaron de suelos con pH neutro o ligeramente alcalino. Los resultados de las variables microbiológicas contrastan con lo reportado en otras especies de solanáceas de importancia económica, como el jitomate (*Solanum lycopersicum*) y el chile (*Capsicum annuum*), que reportan porcentajes de colonización micorrízica superiores (50 – 62% y 35.5 – 58.89% respectivamente) y un efecto significativamente mayor en la promoción del crecimiento vegetal, la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés (Sensoy *et al.*, 2007; Carballar-Hernández *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2021; Ziane *et al.*, 2021). Por otro lado, se ha explorado la plasticidad de la respuesta micorrízica en diferentes genotipos de solanáceas, indicando que incluso dentro de una misma especie pueden existir variaciones en la colonización micorrízica que influyen en la eficacia de la simbiosis (Muthukumar y Sathya, 2017). Estos trabajos resaltan la importancia de considerar la diversidad genética de cada cultivo al diseñar estrategias de inoculación, buscando genotipos más micotróficos (Ganugi *et al.*, 2021).

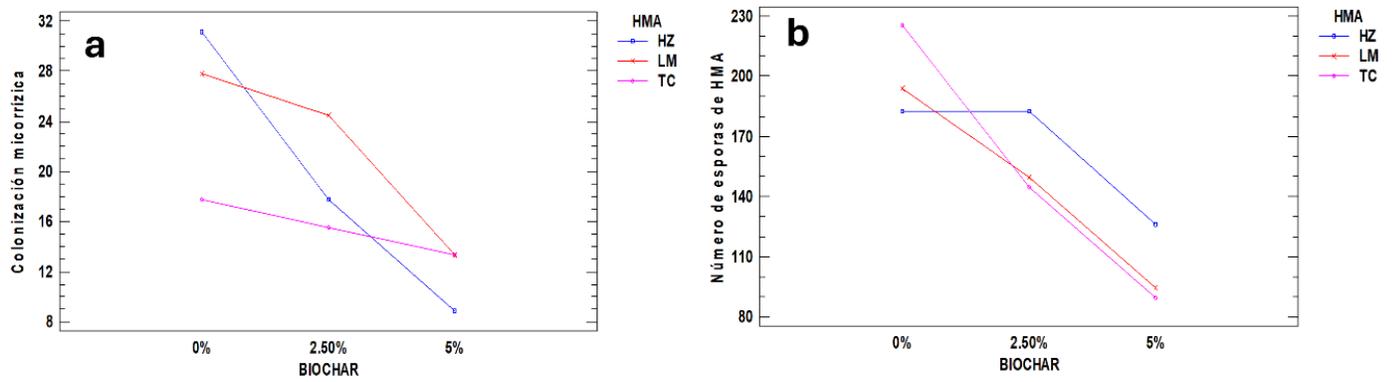


Figura 2. Efecto de los factores Biochar y HMA sobre las variables microbiológicas evaluadas: a) Interacción biochar x HMA en el porcentaje de colonización micorrizica, b) Interacción biochar x HMA en el número de esporas de HMA.

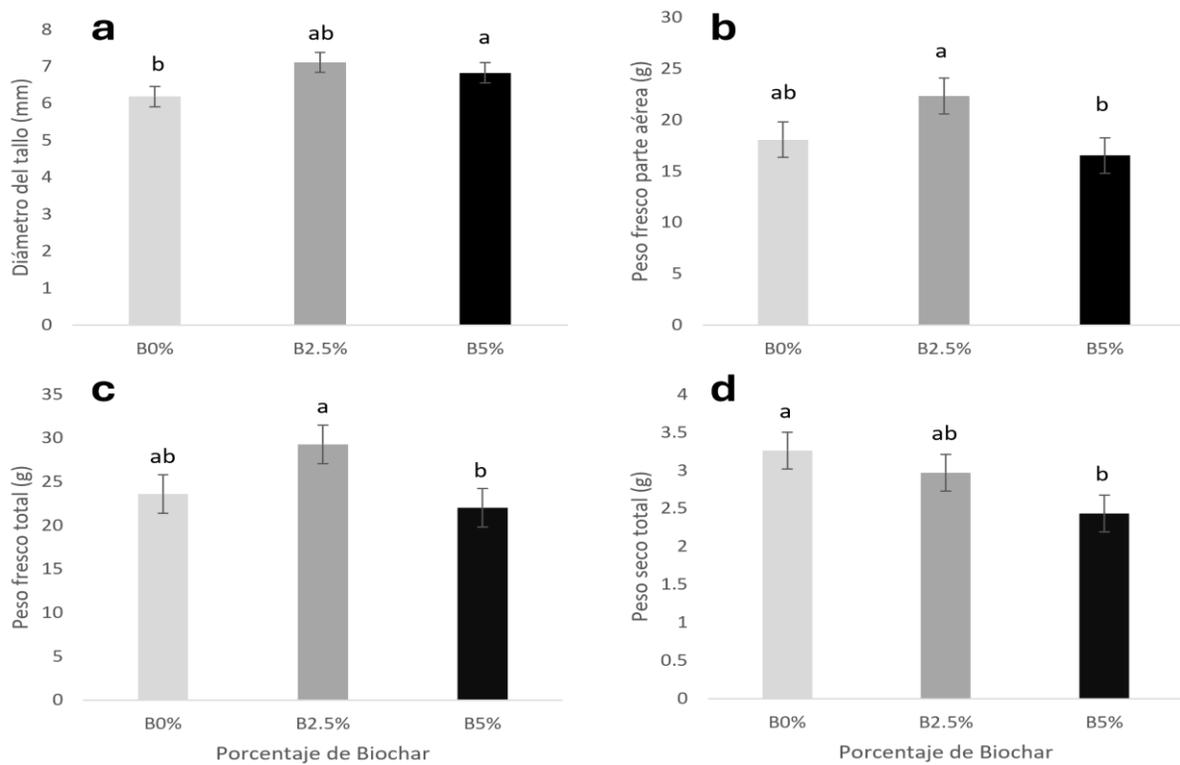


Figura 3. Efecto del factor biochar sobre variables de crecimiento de tomatillo al final del experimento (\pm EE, error estándar). a) Diámetro del tallo (EE = 0.17), b) Peso fresco de la parte aérea (EE = 1.38), c) Peso fresco total (EE = 1.86), d) Peso seco total (EE = 0.25). Letras diferentes arriba de las barras indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

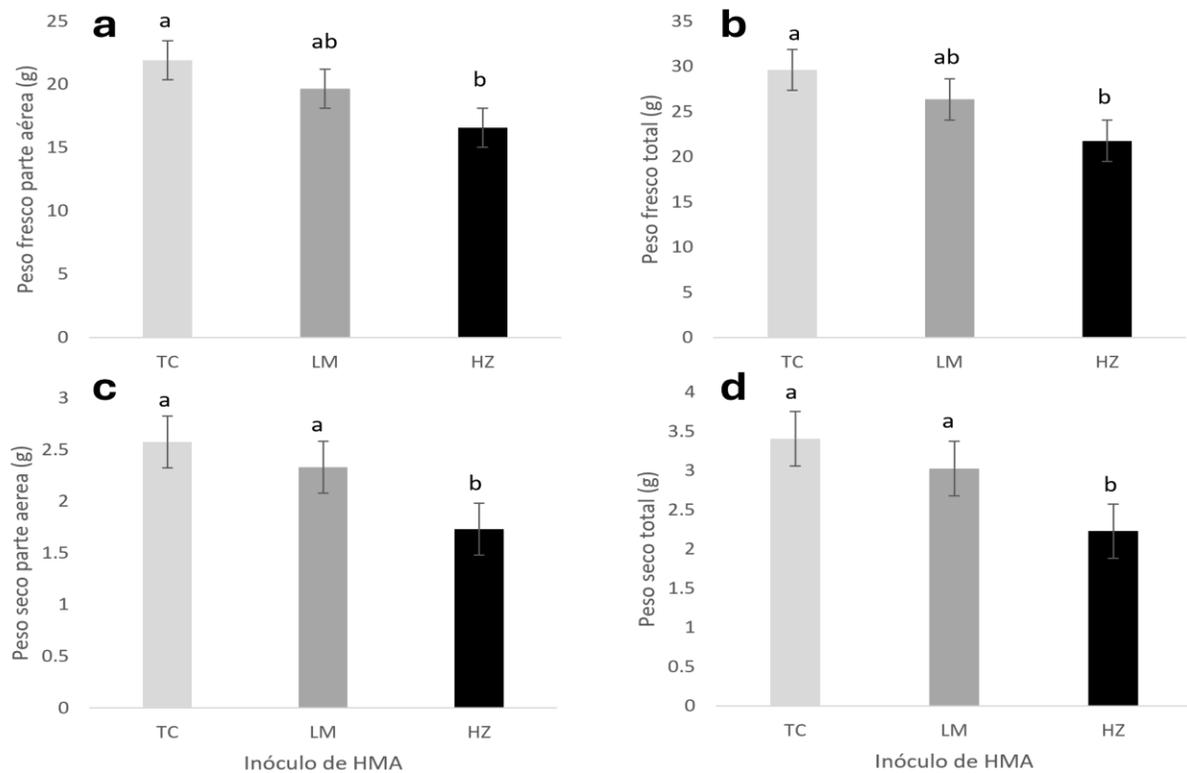


Figura 4. Efecto del factor HMA sobre variables de crecimiento de tomatillo a los 60 días después del trasplante (\pm EE, error estándar). a): peso fresco de la parte aérea (EE = 1.59), b) peso fresco total (EE = 2.90), c) peso seco de la parte aérea (EE = 0.33), d) peso seco total (EE = 0.6). Letras diferentes arriba de las barras indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

En el presente estudio, se observó que tanto el inóculo micorrízico comercial como el consorcio nativo LM demostraron un mejor efecto en la promoción del crecimiento en la mayoría de las variables evaluadas en las plantas de tomatillo. Lo anterior sugiere que estos consorcios podrían contener especies o cepas de HMA con una mayor afinidad o compatibilidad simbiótica con *P. ixocarpa*, lo que resulta en una promoción más efectiva del crecimiento vegetal y una optimización de la absorción de nutrientes (Guigard *et al.*, 2023). La diversidad funcional de especies de HMA dentro de un consorcio puede permitir una mayor resistencia y adaptabilidad a las condiciones específicas del suelo y la planta, en comparación con la inoculación de una sola especie (Anas *et al.*, 2025). Por otro lado, un consorcio más diverso podría asegurar la presencia de especies capaces de prosperar en un rango amplio de condiciones ambientales y responder a las demandas fisiológicas de la planta a lo largo de su ciclo de vida (Brito *et al.*, 2021). Las características del suelo utilizado también desempeñan un papel crucial en la eficacia de los HMA, ya que su composición y propiedades fisicoquímicas afectan

directamente la supervivencia, germinación de esporas y colonización micorrízica de las raíces (Sivakumar, 2013). En este trabajo, el uso de un vertisol con un pH de 6.8 difiere del andosol ácido de donde se obtuvieron originalmente los inóculos nativos (Trinidad-Cruz *et al.*, 2017). Esta diferencia en las propiedades del suelo podía interferir en la eficacia de los consorcios evaluados, debido a que parámetros como el contenido de materia orgánica, la conductividad eléctrica y el pH influyen directamente en la actividad y establecimiento de los HMA (Prado *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2020; Fang *et al.*, 2023). Un pH cercano a la neutralidad en el suelo utilizado podría haber influido en la disponibilidad de fósforo (Penn y Camberato, 2019), el cual es un factor clave en la regulación de la simbiosis micorrízica; un exceso de fósforo puede inhibir la colonización, mientras que una deficiencia la estimula (Smith y Read, 2010). Adicionalmente, la estructura del suelo, la aireación y la disponibilidad de agua también influyen en el desarrollo de los HMA (Jamiólkowska *et al.*, 2018). Por lo tanto, un cambio en el tipo de suelo podría haber alterado las condiciones óptimas para el desarrollo y la eficacia de los HMA.

Tabla 2. Efecto de la combinación de diferentes dosis de biochar en el sustrato y la inoculación con consorcios de HMA sobre distintas variables de crecimiento y nutricionales en plantas de tomatillo.

Tratamiento	DT (mm)	PFA (g)	PFR (g)	PFT (g)	VR (mL)	LR (cm)	AF (m ²)	PSA (g)	PSR (g)	PST (g)	NF	NO ₃ ⁻ (ppm)	K ⁺ (ppm)
B: 0%, HZ	6.42 b	15.25 cd	4.21 d	19.46 cd	4.25 d	14.25 bc	52.80 d	0.31 c	0.27 c	0.58 d	8 ab	1005 bcd	1000 cd
B: 2.5%, HZ	6.89 ab	21.75 abc	6.60 abc	28.35 ab	6.25 abc	16.75 ab	105.69 ab	0.46 c	0.70 bc	1.16 cd	7.44 abc	880 d	1150 bcd
B: 5%, HZ	6.73 b	12.75 d	4.71 cd	17.46 d	5.87 bcd	13.75 c	51.08 d	0.96 abc	0.64 bc	1.60 abcd	4.75 c	1550 a	1000 cd
B: 0%, LM	6.09 b	20 abcd	6.23 abc	26.23 abc	6.25 abc	16.5 ab	77.02 abcd	1.09 abc	0.88 abc	1.97 abc	8.38 ab	925 cd	1550 bc
B: 2.5%, LM	7.42 a	22.5 ab	9.05 a	31.55 a	9 a	23.25 a	83.15 abc	0.78 bc	0.72 bc	1.50 bcd	9.57 a	1060 bcd	1650 b
B: 5%, LM	6.51 b	16.5 cd	4.77 cd	21.27 bcd	4.5 cd	16.25 ab	62.62 bcd	1.26 ab	0.72 bc	1.99 abc	5.87 bc	1200 bc	2150 a
B: 0%, TC	6.04 b	19 bcd	6.15 abc	25.15 abcd	5.75 bcd	16.87 ab	63.13 bcd	1.59 a	1.04 ab	2.63 ab	7.56 abc	1070 bcd	940 d
B: 2.5%, TC	7.03 b	22.75 ab	5.24 bcd	27.99 ab	4.75 cd	15.75 abc	55.98 cd	0.81 bc	0.37 c	1.19 cd	7.19 abc	1230 bc	1000 cd
B: 5%, TC	7.25 ab	24 a	7.44 ab	31.44 a	8.25 ab	14.75 bc	138.76 a	1.35 ab	2.54 a	3.90 a	7.44 abc	1300 ab	1200 abcd
EE	0.28	1.98	1.16	2.61	1.22	2.24	20.59	0.19	0.16	0.28	1.66	110.98	42.33

DT: Diámetro del tallo; PFA: Peso fresco de la parte aérea; PFR: Peso fresco de la raíz; PFT: Peso fresco total; VR: Volumen radicular; LR: Longitud radicular; AF: Área foliar; PSA: Peso seco de la parte aérea; PSR: Peso seco de la raíz; PST: Peso seco total; NF: Número de flores; NO₃⁻: Contenido de nitratos en los folíolos; K⁺: Contenido de potasio en los folíolos; B: Biochar; HZ: Huizachal; LM: Limón; TC: Testigo comercial; EE = Error estándar.

El biochar es conocido por su capacidad para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que se traduce en una mayor retención de nutrientes, incrementando su disponibilidad para las plantas y una mejora en la estructura del suelo, la aireación y la capacidad de retención de agua (Narzari *et al.*, 2015; Hussain *et al.*, 2017; Campion *et al.*, 2023). En este estudio, la adición de biochar al 2.5% resultó en valores más altos en las variables de crecimiento del tomatillo; este efecto positivo puede atribuirse a la capacidad del biochar para actuar como un sumidero y fuente de nutrientes, reduciendo su lixiviación y manteniéndolos accesibles para la absorción de la planta (Ippolito *et al.*, 2015). Sin embargo, un incremento de la dosis de biochar al 5% resultó en una ligera disminución del crecimiento en la mayoría de las variables evaluadas, incluyendo las de crecimiento acumulado a lo largo del experimento; esto podría evidenciar un posible efecto fitotóxico a altas dosis de biochar en el sustrato (Li *et al.*, 2015). La matriz porosa del biochar y la alta capacidad de intercambio catiónico son fundamentales para esta función (Hossain *et al.*, 2020), principalmente en un sustrato limitado (1 kg) donde no se aplicaron soluciones nutritivas adicionales. Por otro lado, la calidad y eficacia del biochar están ligadas a la materia prima de la cual es obtenido y a las condiciones de pirólisis (Köves *et al.*, 2024). El biochar utilizado en este trabajo se obtuvo a partir del bagazo de *A. cupreata*, un subproducto abundante de la elaboración del mezcal en la región (Ruiz-Camou *et al.*, 2023). Reportes recientes, como el de López-Pérez *et al.* (2024), han documentado resultados similares con este mismo tipo de biochar en girasol (*H. annuus*), aunque con una dosis única (5%). Esto sugiere que el biochar de bagazo de agave tiene un potencial para ser usado como enmienda del suelo, con efectos promotores del crecimiento en diferentes cultivos, lo que podría valorizar este tipo de residuos agroindustriales. Además de las propiedades del biochar, la forma de aplicación también es importante para su eficacia; la mezcla del biochar con el sustrato en volumen es una práctica recomendable, ya que la aplicación directa sin mezclar en el orificio de trasplante puede inducir problemas de fitotoxicidad, especialmente con biochar de alta alcalinidad o contenido de sales (Li *et al.*, 2015). Esta precaución es vital para asegurar que los beneficios del biochar no se vean afectados por efectos adversos que puedan alterar el establecimiento del cultivo, considerando también la granulometría y la distribución del biochar en el sustrato para maximizar el contacto con las raíces y los microorganismos (Jaafar *et al.*, 2015; De Oliveira *et al.*, 2018).

La interacción entre el biochar y los de HMA ha sido poco estudiada, sin embargo, algunos trabajos reportan resultados que varían desde el efecto sinérgico hasta la posible toxicidad, dependiendo de las condiciones

experimentales, el tipo de biochar e inóculo micorrízico (Liang *et al.*, 2019; Sun *et al.*, 2022; Wen *et al.*, 2024). Se ha documentado que la combinación de biochar y HMA puede tener efectos sinérgicos, particularmente bajo condiciones de estrés abiótico, como la salinidad o la sequía, donde mejoran conjuntamente la tolerancia de las plantas al reducir el estrés oxidativo y mejorar la absorción de agua y nutrientes (Chen *et al.*, 2021; Gunes *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2024; Wen *et al.*, 2024). Recientemente, estudios como el de Meng *et al.* (2024) han reportado que la aplicación conjunta de HMA y biochar favorece el establecimiento de bacterias fijadoras de nitrógeno como *Pseudomonas*, incrementando la adquisición de este nutriente por la planta. Sin embargo, también existen informes que señalan la posibilidad de toxicidad o efectos negativos directos e indirectos del biochar sobre los HMA (Yusif y Dare, 2016; Barna *et al.*, 2020), especialmente a altas dosis de biochar (10 - 20 ton/ha). En el presente estudio, se encontró un efecto negativo del biochar sobre las variables microbiológicas, específicamente una disminución en el número de esporas de HMA y en el porcentaje de colonización micorrízica. Este resultado sugiere una posible toxicidad del biochar al limitar el establecimiento de los HMA, que probablemente fue influenciada por las características fisicoquímicas del biochar utilizado, las cuales pueden alterar la conductividad eléctrica y el pH del sustrato (Dai *et al.*, 2014). Un cambio abrupto en estos parámetros puede modificar la actividad de los HMA, afectando su viabilidad, germinación de esporas y capacidad de colonización de las raíces (Sivakumar, 2013; Nongkling y Kayang, 2017). Resultados consistentes con estos hallazgos fueron reportados por López-Pérez *et al.* (2024) en girasol, quienes también observaron bajos porcentajes de colonización micorrízica, aunque destacaron una correlación positiva en el número de esporas de HMA como posible respuesta al estrés inducido por el biochar, lo que podría indicar una estrategia de supervivencia o una alteración en la dinámica de esporulación del hongo (Rollon *et al.*, 2017). A pesar de este efecto en las variables microbiológicas, resalta la respuesta positiva del crecimiento vegetal del tomatillo en el tratamiento con biochar al 5% combinado con el inóculo micorrízico comercial y biochar al 2.5% con el consorcio LM. Estos tratamientos registraron los valores más altos en casi todas las variables de crecimiento al final del experimento. Lo anterior sugiere que estas combinaciones de HMA y el tipo de biochar utilizado son compatibles en cuanto a la respuesta de crecimiento vegetal, lo cual refleja el establecimiento de una simbiosis funcional más eficiente aún con bajos porcentajes de colonización micorrízica (Treseder, 2013). Esto refuerza la idea de que la respuesta del biochar depende directamente del tipo de inóculo micorrízico utilizado (Li y Cai, 2021). Es relevante

reconocer que la optimización de estas enmiendas y bioinoculantes en sistemas agrícolas requiere un conocimiento detallado de cómo, cada componente influye en los demás y cómo estas interacciones se modulan bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. La variabilidad observada en la colonización de HMA y el crecimiento vegetal refleja la necesidad de futuros estudios que aborden la compatibilidad entre diferentes fuentes de biochar, diversas cepas o consorcios de HMA y distintas especies de plantas hospedantes. En este sentido, se recomienda realizar investigaciones que evalúen un mayor número de dosis y fuentes de biochar, así como su combinación con una mayor cantidad de inóculos de HMA nativos de zonas de producción de la especie vegetal a evaluar. O bien, realizar estos estudios en plantas altamente micotróficas, lo que permitiría evaluar de manera puntual tanto la posible toxicidad directa del biochar sobre los HMA, y de forma indirecta, su impacto en el crecimiento y la salud vegetal bajo condiciones de mayor dependencia micorrízica. La implementación de técnicas de biología molecular, como la metagenómica y la transcriptómica, podría dilucidar los cambios en la comunidad microbiana del suelo y la expresión génica de la planta y el hongo en respuesta a estas enmiendas, proporcionando una comprensión más profunda de los mecanismos subyacentes a las interacciones observadas.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo destacan la importancia de una evaluación multifactorial de las interacciones biochar-HMA-planta-suelo. El biochar al 5% en el sustrato resultó en una ligera depresión del crecimiento vegetal y disminuyó la actividad micorrízica de los consorcios nativos, sin embargo, a dosis de 2.5% promovió el crecimiento en la mayoría de las variables evaluadas. Esto muestra que el biochar tiene potencial para su aplicación conjunta con HMA en el crecimiento vegetal, sin embargo, es necesario analizar la compatibilidad entre ellos, principalmente debido a las propiedades fisicoquímicas del biochar y las posibles dosis a utilizar. La comprensión de estas interacciones es fundamental para el desarrollo de estrategias de producción agrícola más sostenibles y eficientes, que permitan la producción de cultivos como el tomatillo en un contexto de agricultura agroecológica y con menor dependencia de insumos químicos, contribuyendo a la seguridad alimentaria y la salud del agroecosistema.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento al cuerpo de estudiantes e investigadores del cuerpo académico de Ecofisiología Vegetal que participaron en las distintas actividades durante el establecimiento, medición y levantamiento de los experimentos realizados.

Funding. This work was funded by the following research projects: “Evaluación de microorganismos rizosféricos en el desarrollo y sanidad de plantas de importancia comercial” and “Uso de bioefectores en el crecimiento y desarrollo de especies vegetales de interés agrícola del estado de Michoacán” funded by Coordinación de la investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; and the projects: FCCHTI23_ME-4.1.-0028 UMSNH/DVSS/87/202 y “FCCHTI23_ME-4.1.-0011/UMSNH/DVSS/77/2023”, funded by Instituto de Ciencia y Tecnología de Michoacán (ICTI).

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability. Data are available upon reasonable request to the corresponding author (alfredo.reyes@umich.mx).

Author contribution statement (CRediT). **L. López-Pérez** - Funding acquisition, design of the experiments and writing of the article. **L. Vázquez-Lezama** – Conduction and development of the experiment, taking response variables and designing graphs. **D. Flores-Murillo** – Analysis and interpretation of variables. **A. Reyes-Tena** – Project administration, funding acquisition, methodology, supervision, writing, review & editing.

REFERENCES

- Aguíñaga-Bravo, A., Medina-Dzul, K., Garruña-Hernández, R., Latournerie-Moreno, L. and Ruíz-Sánchez, E., 2020. Efecto de abonos orgánicos sobre el rendimiento, valor nutritivo y capacidad antioxidante de tomate verde (*Physalis ixocarpa*). *Acta Universitaria*, 30, p. e2475. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2475>
- Anas, M., Khalid, A., Saleem, M.H., Ali-Khan, K., Ahmed-Khattak, W. and Fahad, S., 2025. Symbiotic Synergy: Unveiling Plant-Microbe Interactions in Stress Adaptation. *Journal of Crop Health*, 77, pp. 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10343-024-01070-z>
- Avilés-Avilés, B., 2015. Efecto de vermicompost, compost y fertilizantes sintéticos en el rendimiento y calidad de (*Physalis ixocarpa* Brot) a campo abierto. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila, México. 84 p.

- Barna, G., Makó, A., Takács, T., Skic, K., Fűzy, A. and Horel, Á., 2020. Biochar alters soil physical characteristics, arbuscular mycorrhizal fungi colonization, and glomalin production. *Agronomy*, 10, p. 1933. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121933>
- Barrer, S.E., 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7, pp. 123-132. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612009000100014&lng=en&tlng=es
- Brito, I., Carvalho, M. and Goss, M.J., 2021. Managing the functional diversity of arbuscular mycorrhizal fungi for the sustainable intensification of crop production. *Plants, People, Planet*, 3, pp. 491-505. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10212>
- Campion, L., Bekchanova, M., Malina, R. and Kuppens, T., 2023. The costs and benefits of biochar production and use: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 408, p. 137138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137138>
- Carballar-Hernández, S., Hernández-Cuevas, L.V., Montañón, N.M., Ferrera-Cerrato, R. and Alarcón, A., 2018. Species composition of native arbuscular mycorrhizal fungal consortia influences growth and nutrition of poblano pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Applied Soil Ecology*, 130, pp. 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.05.022>
- Chen, L., Li, W. and Xiao, Y., 2021. Biochar and nitrogen fertilizer increase *Glomus* synergism and abundance and promote *Trifolium pratense* growth while inhibiting pollutant accumulation. *Ecological Indicators*, 133, p. 108377. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108377>
- Corradi, N. and Bonfante, P., 2012. The arbuscular mycorrhizal symbiosis: origin and evolution of a beneficial plant infection. *PLoS pathogens*, 8, e1002600. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002600>
- Cruz-Koizumi, Y.P., 2015. Análisis comparativo de calidad suelo y productividad en dos sistemas de cultivo de tomate verde (*Physalis ixocarpa*) en Calakmul, Campeche. Tesis de Maestría, El Colegio de la Frontera Sur, Campeche, México, p. 64.
- Cruz-Koizumi, Y.P., Alayón-Gamboa, J.A., Morón-Ríos, A., Castellanos-Albores, J., Aguilar-Chama, A. and Guevara, R., 2018. Effects of organic and chemical agriculture systems on arbuscular mycorrhizal fungi and green tomato production in Calakmul, Mexico. *Agricultural Sciences*, 9, pp. 1145-1167. <http://doi.org/10.4236/as.2018.99080>
- Cruz-Méndez, A.S., Ortega-Ramirez, E., Lucho-Constantino, C.A., Arce-Cervantes, O., Vázquez-Rodríguez, G.A., Coronel-Olivares, C. and Beltrán-Hernández, R.I., 2021. Bamboo biochar and a nopal-based biofertilizer as improvers of alkaline soils with low buffer capacity. *Applied Sciences*, 11, p. 6502. <https://doi.org/10.3390/app11146502>
- d'Entremont, T.W. and Kivlin, S.N., 2023. Specificity in plant-mycorrhizal fungal relationships: Prevalence, parameterization, and prospects. *Frontiers in Plant Science*, 14, p. 1260286. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1260286>
- Dai, Z., Wang, Y., Muhammad, N., Yu, X., Xiao, K., Meng, J., Liu X., Xu J. and Brookes, P.C., 2014. The effects and mechanisms of soil acidity changes, following incorporation of biochars in three soils differing in initial pH. *Soil Science Society of America Journal*, 78, pp. 1606-1614. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.08.0340>
- Dastogeer, K.M., Zahan, M.I., Tahjib-Ul-Arif, M., Akter, M.A. and Okazaki, S., 2020. Plant salinity tolerance conferred by arbuscular mycorrhizal fungi and associated mechanisms: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 11, p. 588550. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.588550>
- De Oliveira, M.N., Santo, A., Costa Da, G., Barbosa De, M. and Mota, E., 2018. Biochar Dosage and Granulometry Influencing Soil Density and Water Retention. *International Journal of Agriculture Sciences*, 10, pp. 0975-3710.
- Djotan, A.K.G., Matsushita, N. and Fukuda, K., 2024. Within-site variations in soil physicochemical properties explained the spatiality and cohabitation of arbuscular mycorrhizal fungi in the roots of *Cryptomeria Japonica*.

- Microbial Ecology*, 87, p. 136.
<https://doi.org/10.1007/s00248-024-02449-1>
- Duan, T., Facelli, E., Smith, S. E., Smith, F. A. and Nan, Z., 2011. Differential effects of soil disturbance and plant residue retention on function of arbuscular mycorrhizal (AM) symbiosis are not reflected in colonization of roots or hyphal development in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(3), pp. 571-578.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.024>
- Escalante-Rebolledo, A., Pérez-López, G., Hidalgo-Moreno, C., López-Collado, J., Campo-Alves, J., Valtierra-Pacheco, E. and Etchevers-Barra, J.D., 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, pp. 367-382.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300367&lng=es&tlng=es.
- Fang, L.L., Liu, Y.J., Wang, Z.H., Lu, X.Y., Li, J.H. and Yang, C.X., 2023. Electrical conductivity and pH are two of the main factors influencing the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities in the vegetation succession series of Songnen Saline-Alkali Grassland. *Journal of Fungi*, 9, p. 870.
<https://doi.org/10.3390/jof9090870>
- Friede, M., Unger, S., Hellmann, C. and Beyschlag, W., 2016. Conditions promoting mycorrhizal parasitism are of minor importance for competitive interactions in two differentially mycotrophic species. *Frontiers in Plant Science*, 7, p. 1465.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01465>
- Gallo-Saravia, M., Lugo-Sierra, L. and Zapata, R.B., 2018. Evaluación de biochar como alternativa de sustrato en cultivos de tomate. *Scientia et Technica*, 23, pp. 299-303.
<https://doi.org/10.22517/23447214.17691>
- Ganugi, P., Masoni, A., Sbrana, C., Dell'Acqua, M., Pietramellara, G., Benedettelli, S. and Avio, L., 2021. Genetic variability assessment of 127 *Triticum turgidum* L. accessions for mycorrhizal susceptibility-related traits detection. *Scientific reports*, 11, p. 13426.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-92837-1>
- Gerdemann J. W. and Nicolson, T.H., 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, pp. 235-244.
- Grünfeld, L., Mola, M., Wulf, M., Hempel, S. and Veresoglou, S.D., 2021. Disentangling the relative importance of spatio-temporal parameters and host specificity in shaping arbuscular mycorrhizal fungus communities in a temperate forest. *Mycorrhiza*, 31, pp. 589-598.
<https://doi.org/10.1007/s00572-021-01041-6>
- Gu, S., Lian, F., Yang, H., Han, Y., Zhang, W., Yang, F. and Gao, J., 2021. Synergic effect of microorganism and colloidal biochar-based organic fertilizer on the growth and fruit quality of tomato. *Coatings*, 11, p. 1453.
<https://doi.org/10.3390/coatings11121453>
- Guigard, L., Jobert, L., Busset, N., Moulin, L. and Czernic, P., 2023. Symbiotic compatibility between rice cultivars and arbuscular mycorrhizal fungi genotypes affects rice growth and mycorrhiza-induced resistance. *Frontiers in Plant Science*, 14, p. 1278990.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1278990>
- Gunes, H., Demir, S., Erdinc, C. and Furan, M. A., 2023. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and biochar on the growth of pepper (*Capsicum annuum* L.) under salt stress. *Gesunde Pflanzen*, 75, pp. 2669-2681.
<https://doi.org/10.1007/s10343-023-00897-2>
- Hossain, M.Z., Bahar, M.M., Sarkar, B., Donne, S.W., Ok, Y.S., Palansooriya, K.N., Kirkham, M.B., Chowdhury S. and Bolan, N., 2020. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar*, 2, pp. 379-420.
<https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>
- Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A., Al-Sadi, A.M., Solaiman, Z.M., Alghamdi, S.S., Amara U., Ok Y.S. and Siddique, K.H., 2017. Biochar for crop production: potential benefits and risks. *Journal of Soils and Sediments*, 17, pp. 685-716.
<https://doi.org/10.1007/s11368-016-1360-2>
- Ippolito, J.A., Spokas, K.A., Novak, J.M., Lentz, R.D. and Cantrell, K.B., 2015. Biochar elemental composition and factors influencing nutrient retention. In: *Biochar for environmental management*. pp. 139-163. Routledge.
<https://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/id/eprint/1590>

- Jaafar, N.M., Clode, P.L. and Abbott, L.K., 2015. Soil microbial responses to biochars varying in particle size, surface and pore properties. *Pedosphere*, 25, pp. 770-780. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30058-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30058-8)
- Jamiołkowska, A., Księżniak, A., Gałazka, A., Hetman, B., Kopacki, M. and Skwaryło-Bednarz, B., 2018. Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: a review. *International Agrophysics*, 32, pp. 133-140. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0090>
- Khan, S., Irshad, S., Mehmood, K., Hasnain, Z., Nawaz, M., Rais, A., Gul, S., Wahid, M. A., Hashem, A., Abd-Allah, E. F. and Ibrar, D., 2024. Biochar production and characteristics, its impacts on soil health, crop production, and yield enhancement: A review. *Plants*, 13(2), p. 166. <https://doi.org/10.3390/plants13020166>
- Köves, M., Madár, V., Ringer, M. and Kocsis, T., 2024. Overview of Traditional and Contemporary Industrial Production Technologies for Biochar along with Quality Standardization Methods. *Land*, 13, p. 1388. <https://doi.org/10.3390/land13091388>
- Kozioł, L. and Bever, J.D., 2016. AMF, phylogeny, and succession: specificity of response to mycorrhizal fungi increases for late-successional plants. *Ecosphere*, 7, e01555. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1555>
- Li, M. and Cai, L., 2021. Biochar and arbuscular mycorrhizal fungi play different roles in enabling maize to uptake phosphorus. *Sustainability*, 13, p. 3244. <https://doi.org/10.3390/su13063244>
- Li, M., Hou, S., Wang, J., Hu, J. and Lin, X., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungus suppresses tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) Ralstonia wilt via establishing a soil-plant integrated defense system. *Journal of Soils and Sediments*, 21, pp. 3607-3619. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-03016-8>
- Li, T., Yang, H., Zhang, N., Dong, L., Wu, A., Wu, Q., Zhao M., Liu H., Li Y. and Wang, Y., 2024. Synergistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar are highly beneficial to *Ligustrum lucidum* seedlings in Cd-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, pp. 11214-11227. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-31870-9>
- Li, Y., Shen, F., Guo, H., Wang, Z., Yang, G., Wang, L., Zhang Y., Zeng Y. and Deng, S., 2015. Phytotoxicity assessment on corn stover biochar, derived from fast pyrolysis, based on seed germination, early growth, and potential plant cell damage. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, pp. 9534-9543. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4115-5>
- Liang, J.F., An, J., Gao, J. Q., Zhang, X.Y., Song, M.H. and Yu, F.H., 2019. Interactive effects of biochar and AMF on plant growth and greenhouse gas emissions from wetland microcosms. *Geoderma*, 346, pp. 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.033>
- Liu, J., Zhang, J., Li, D., Xu, C. and Xiang, X., 2020. Differential responses of arbuscular mycorrhizal fungal communities to mineral and organic fertilization. *MicrobiologyOpen*, 9, e00920. <https://doi.org/10.1002/mbo3.920>
- López-Pérez, L., Rubio-Marcos, S., and Reyes-Tena, A. 2024. Consorcios nativos de hongos micorrícicos arbusculares y biochar en la promoción del crecimiento de plantas de girasol. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, 2(2), pp. 215-230. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12774150>
- Luo, Y., Dungait, J.A., Zhao, X., Brookes, P.C., Durenkamp, M., Li, G. and Lin, Q., 2018. Pyrolysis temperature during biochar production alters its subsequent utilization by microorganisms in an acid arable soil. *Land Degradation & Development*, 29, pp. 2183-2188. <https://doi.org/10.1002/ldr.2846>
- Manoharan, L., Rosenstock, N.P., Williams, A. and Hedlund, K., 2017. Agricultural management practices influence AMF diversity and community composition with cascading effects on plant productivity. *Applied Soil Ecology*, 115, pp. 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.03.012>
- Meng, L., Cheng, Z. and Li, S., 2024. Response of soil nitrogen-cycling genes to the coupling effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and biochar application in maize rhizosphere. *Sustainability*, 16, p. 3349. <https://doi.org/10.3390/su16083349>

- Molina-Montenegro D., 2013. Evaluación de la aplicación de biochar en un cultivo de *Physalis peruviana* L. (UCHUVA). Tesis de licenciatura, Facultad de ciencias, Pontificia Universidad Saveriana. Bogotá D.C. pp. 1-50.
- Montesinos-Navarro, A., Segarra-Moragues, J.G., Valiente-Banuet, A. and Verdú, M., 2012. Plant facilitation occurs between species differing in their associated arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 19, pp. 835-844. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04290.x>
- Muthukumar, T. and Sathya, R., 2017. Endorhizal fungal association and colonization patterns in Solanaceae. *Polish Botanical Journal*, 62, pp. 287-299. <https://doi.org/10.1515/pbj-2017-0016>
- Narzari, R., Bordoloi, N., Chutia, R.S., Borkotoki, B., Gogoi, N., Bora, A. and Katak, R., 2015. Biochar: an overview on its production, properties and potential benefits. *Biology, Biotechnology and Sustainable Development*, 1, pp. 13-40.
- Nongkling, P. and Kayang, H., 2017. Soil physicochemical properties and its relationship with AMF spore density under two cropping systems. *Current Research in Environmental and Applied Mycology*, 7, pp. 33-39. <http://doi.org/10.5943/cream/7/1/5>
- Osco Tarqui C.R. and Blanco-Villacorta M.W., 2021. Uso del biochar en la producción agrícola. Revista Estudiantil AGRO-VET. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. Vol. 5. pp. 83-87. La Paz, Bolivia. <https://orcid.org/0000-0001-9266-9972>
- Pahalvi, H.N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B. and Kamili, A.N., 2021. Chemical fertilizers and their impact on soil health. *Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs*, pp. 1-20. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1
- Palansooriya, K.N., Wong, J.T.F., Hashimoto, Y., Huang, L., Rinklebe, J., Chang, S.X., Bolan N., Wang H. and Ok, Y.S., 2019. Response of microbial communities to biochar-amended soils: a critical review. *Biochar*, 1, pp. 3-22. <https://doi.org/10.1007/s42773-019-00009-2>
- Penn, C.J. and Camberato, J.J., 2019. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agriculture*, 9, p. 120. <https://doi.org/10.3390/agriculture9060120>
- Phillips, J.M. and Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, pp. 158-161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Prado, B., Duwig, C., Hidalgo, C., Müller, K., Mora, L., Raymundo, E. and Etchevers, J.D., 2014. Transport, sorption and degradation of atrazine in two clay soils from Mexico: Andosol and Vertisol. *Geoderma*, 232, pp. 628-639. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.06.011>
- Purin, S. and Rillig, M.C., 2008. Parasitism of arbuscular mycorrhizal fungi: reviewing the evidence. *FEMS Microbiology Letters*, 279(1), 8-14. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2007.01007.x>
- Quiñones-Aguilar, E.E., Montoya-Martínez, A.C., Rincón-Enriquez, G., Lobit, P. and López-Pérez, L., 2016. Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal consortia on the growth of *Agave inaequidens*. *Journal of Soil science and Plant Nutrition*, 16, pp. 1052-1064. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000077>
- Rivera-García, J.A., Díaz, T., Contreras-Cornejo, H. Á., Larsen, J., González-Esquivel, C.E., López-Pérez, L., Barreto-Barriga, O., Ortiz-Salgado D.A. and Real-Santillán, R.O., 2025. Biochar alters maize growth, mycorrhizal associations and fall armyworm performance. *Plant and Soil*, 509(1), pp. 487-499. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06874-6>
- Rollon, R.J.C., Almendras-Ferraren, A.S. and Ferraren, D.O., 2017. Effects of biochar application on potting media chemical properties, arbuscular mycorrhizal fungi spore density, growth and nutrient uptake of sorghum (*Sorghum vulgare* L.). *Advances in Agriculture & Botany*, 9(3), pp. 119-135.
- Rubio-Marcos, S., 2024. Evaluación de consorcios micorrízicos y biochar en el crecimiento y desarrollo de girasol. Tesis de Licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, p. 62.

- Ruiz-Camou, C., Núñez, J. and Musule, R., 2023. Evaluating the environmental performance of mezcal production in Michoacán, México: A life cycle assessment approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 28, pp. 1658-1671. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02237-y>
- Sanders, I.R., 2002. Ecology and evolution of multigenomic arbuscular mycorrhizal fungi. *The American Naturalist*, 160, pp. 128-141. <https://doi.org/10.1086/342085>
- Selvakumar, G., Krishnamoorthy, R., Kim, K. and Sa, T., 2016. Propagation technique of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from coastal reclamation land. *European Journal of Soil Biology*, 74, pp. 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.03.005>
- Sensoy, S., Demir, S., Turkmen, O., Erdinc, C. and Savur, O.B., 2007. Responses of some different pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi. *Scientia Horticulturae*, 113, pp. 92-95. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.01.023>
- SIAP, 2025. Servicio de Información, Agroalimentaria y Pesquera. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/ Consultado el 29 de mayo de 2025.
- Singh, T.B., Ali, A., Prasad, M., Yadav, A., Shrivastav, P., Goyal, D. and Dantu, P.K., 2020. *Role of organic fertilizers in improving soil fertility*. In: Naeem, M., Ansari, A., Gill, S. (eds) *Contaminants in Agriculture*. Springer, Cham. 3 pp. 61-77. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_3
- Sivakumar, N., 2013. Effect of edaphic factors and seasonal variation on spore density and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane fields. *Annals of Microbiology*, 63, pp. 151-160. <https://doi.org/10.1007/s13213-012-0455-2>
- Smith, S.E. and Read, D.J., 2010. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press.
- Sun, J., Jia, Q., Li, Y., Zhang, T., Chen, J., Ren, Y., Dong K., Xu S., Nan-Nan S. and Fu, S., 2022. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar on growth, nutrient absorption, and physiological properties of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Fungi*, 8, p. 1275. <https://doi.org/10.3390/jof8121275>
- Treseder, K.K., 2013. The extent of mycorrhizal colonization of roots and its influence on plant growth and phosphorus content. *Plant and Soil*, 371, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1681-5>
- Trinidad-Cruz, J.R., Quiñones-Aguilar, E.E., Hernández-Cuevas, L.V., López-Pérez, L. and Rincón-Enríquez, G., 2017. Hongos micorrízicos arbusculares asociados a la rizosfera de *Agave cupreata* en regiones mezcaleras del estado de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Micología*, 45, pp. 13-25. <https://doi.org/10.33885/sf.2017.0.1164>
- Wang, J. and Wang, S., 2019. Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*, 227, pp. 1002-1022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>
- Wen, Y., Wu, R., Qi, D., Xu, T., Chang, W., Li, K., Fang X. and Song, F., 2024. The effect of AMF combined with biochar on plant growth and soil quality under saline-alkali stress: Insights from microbial community analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 281, p. 116592. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116592>
- Willis, A., Rodrigues, B.F. and Harris, P.J., 2013. The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32, pp. 1-20. <https://doi.org/10.1080/07352689.2012.683375>
- Yang, R., Cai, X., Li, X., Christie, P., Zhang, J. and Gai, J., 2017. Temperature-mediated local adaptation alters the symbiotic function in arbuscular mycorrhiza. *Environmental Microbiology*, 19, pp.2616-2628. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13737>
- Yusif, S.A. and Dare, M.O., 2016. Effect of biochar application and arbuscular mycorrhizal inoculation on root colonization and soil chemical properties. *International Annals of Science*, 1, pp. 33-38. <https://doi.org/10.21467/ias.1.1.33-38>
- Zheng, H., Liu, D., Liao, X., Miao, Y., Li, Y., Li, J., Yuan J., Chen Z. and Ding, W., 2022. Field-aged biochar enhances soil organic carbon by increasing recalcitrant organic carbon fractions and making microbial communities

- more conducive to carbon sequestration. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 340, P. 108177. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108177>
- Ziane, H., Hamza, N. and Meddad-Hamza, A., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization rates optimize tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growth and yield in a Mediterranean agroecosystem. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20, pp. 454-458. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.05.009>