

Efecto de *Rhizoglyphus intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* y Fertilizante Sintético Sobre la Morfo-Productividad y Contenido Mineral en Pepino Effect of *Rhizoglyphus intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* and Synthetic Fertilizer on Morpho-Productivity and Mineral Content in Cucumber

Liliana Lara-Capistrán¹ , Juan J. Reyes-Pérez² , Bernardo Murillo-Amador³ ,
Jorge Rocha³ , Ramón J. Holguín-Peña³ , Pablo Preciado-Rangel⁴ y
Luis G. Hernández-Montiel^{3†}

¹ Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. Cto. Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. 91090 Xalapa, Veracruz, México; (L.L.C.).

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito km. 1 ½, Vía Santo Domingo de los Tsáchilas. 120501 Cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos, Ecuador; (J.J.R.P.).

³ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. 23096 La Paz, Baja California Sur, México; (B.M.A.), (J.R.), (R.J.H.P.), (L.G.H.M.).

[†] Autor por correspondencia: lhernandez@cibnor.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Ejido Ana. 27170, Torreón, Coahuila, México; (P.P.R.).

RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) hacen eficiente la aplicación de dosis reducidas de fertilizantes sintéticos, estimulando el crecimiento y la productividad de los cultivos. El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto combinado de *Rhizoglyphus intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* y una dosis reducida de fertilizante sintético en la morfo-productividad y contenido mineral de pepino bajo condiciones de invernadero. Un diseño completamente al azar se utilizó con los siguientes tratamientos; Fertilización sintética 100% (FS); *R. intraradices* + FS 50% (Ri+FS50%); *S. rhizophila* + FS 50% (Sr+FS50%) y *R. intraradices* + *S. rhizophila* más FS 50% (Ri+Sr+FS50%) utilizando 200 plantas por tratamiento. Se determinó altura (cm), diámetro del tallo (mm), número de hojas y por planta se determinó; número de botones, flores masculinas y femeninas, número de zarcillos, índice de verdor (Iv), número y peso de frutos (g), peso total del fruto/planta (kg), rendimiento (kg m⁻²), contenido mineral de N, P, K, Ca y Mn en %, unidades formadoras de colonias (UFC) y colonización micorrízica. Los datos fueron procesados a través de un análisis de varianza según el criterio de Tukey a un 95% de confianza. Los resultados indican que las plantas con Ri+Sr+FS50% incremento de forma significativa ($P \leq 0.001$) la altura (24.18 cm), diámetro del tallo (6.40 mm), número de hojas (18.35), zarcillos (3.10), flores masculinas (0.4), índice de verdor (256.95), flores femeninas (8.90), número de frutos (8.6) y rendimiento (15.92 kg m⁻²), en comparación con la aplicación del fertilizante sintético al 100% (FS). El uso de microorganismos benéficos en combinación con una dosis reducida de fertilizantes sintéticos incrementa la productividad del pepino, por lo tanto, puede constituir una alternativa sostenible en los sistemas agrícolas, reduciendo costos de producción y disminuyendo la contaminación ambiental salvaguardando la salud humana y animal.

Palabras clave: bacteriana, colonización, micorrizas, PGPR, rendimiento, rizobacteria.

SUMMARY

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) make the application of reduced doses of synthetic fertilizers more efficient, stimulating crop growth and productivity. The objective the present study is to evaluate the combined effect of *Rhizoglyphus intraradices*, *Stenotrophomonas*



check for
updates

Cita recomendada:

Lara-Capistrán, L., Reyes-Pérez, J. J., Murillo-Amador, B., Rocha, J., Holguín-Peña, R. J., Preciado-Rangel, P., Hernández-Montiel, L. G. (2025). Efecto de *Rhizoglyphus intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* y Fertilizante Sintético Sobre la Morfo-Productividad y Contenido Mineral en Pepino. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-10. e2226. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2226>

Recibido: 28 de enero de 2025.
Aceptado: 24 de febrero de 2025.
Artículo. Volumen 43.
Agosto de 2025.

Editor de Sección:
Dr. José Luis García-Hernández

Editor Técnico:
Dr. Fermín Pascual Ramírez



Copyright: © 2025 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

rhizophila and a reduced dose of synthetic fertilizer on morpho-productivity and mineral content of cucumber under greenhouse conditions. A completely randomized design was used with the following treatments: 100% synthetic fertilization (SF); *R. intraradices* + SF 50 % (Ri+SF50%); *S. rhizophila* + SF 50% (Sr+SF50%), and *R. intraradices* + *S. rhizophila* + SF 50% (Ri+Sr+SF50%) using 200 plants per treatment. The following are calculated as: height (cm), stem diameter (mm), number of leaves and per plant: number of buds, male and female flowers, number of tendrils, greenness index (lv), number and weight of fruits (g), total weight of fruit/plant (kg), yield (kg m⁻²), mineral content of N, P, K, Ca and Mn in %, colony forming units (CFU) and mycorrhizal colonization. The data were processed through an analysis of variance according to Tukey's criterion at 95% confidence. The results indicate that plants with Ri+Sr+FS50% significantly increased ($P \leq 0.001$) the height (24.18 cm), stem diameter (6.40 mm), number of leaves (18.35), tendrils (3.10), male flowers (0.4), greenness index (256.95), female flowers (8.90), number of fruits (8.6) and yield (15.92 kg m⁻²), compared to the application of 100% synthetic fertilizer (FS). The use of beneficial microorganisms in combination with a reduced dose of synthetic fertilizers increases cucumber productivity, therefore, it may constitute a sustainable alternative in agricultural systems, reducing production costs and decreasing environmental pollution, safeguarding human and animal health.

Index words: bacterial, colonization, mycorrhiza, PGPR, yield, rhizobacteria.

INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una planta hortícola ampliamente cultivada en condiciones climáticas tropicales y subtropicales. Los frutos contienen minerales, vitaminas, antioxidantes y bajos niveles de grasa; esta hortaliza es importante en la dieta humana y se consume en fresco o conservas (Feng *et al.*, 2021; Dhall, Kaur, Manchanda y Sharma, 2024). La alta productividad del pepino requiere un manejo agronómico eficiente, esto incluye el control de plagas y enfermedades con alta incidencia de agroquímicos, fertilización sintética, podas, riego, entre otros. En la nutrición de la planta se aplican fertilizantes sintéticos que disminuyen la rentabilidad económica e inciden en la contaminación ambiental y degradación de los suelos (Rojas-Rodríguez, Coronado, Rossetti y Beltrán, 2020). Diversos estudios indican que los biofertilizantes son una alternativa ecológica eficiente para la nutrición vegetal; se trata de productos a base de microorganismos compatibles con el medio ambiente, que actúan como promotores del crecimiento vegetal y son capaces de controlar fitopatógenos, entre ellos encontramos los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), entre otros (Hnini, Rabeh y Oubohssaine, 2024).

Los HMA son microorganismos benéficos simbióticos que han establecido asociaciones mutualistas con aproximadamente el 80% de las plantas terrestres superiores (Naseer *et al.*, 2024). En el proceso simbiótico HMA-planta, las hifas extra e intrarradicales del hongo se consideran puentes biológicos entre el suelo y las plantas, facilitando la absorción de agua y nutrientes esenciales para sustentar la vida vegetal (Wu *et al.*, 2023). Los HMA también influyen en la morfogénesis de la raíz, incrementando su capacidad de exploración del suelo (Nie *et al.*, 2024). Existen diversas especies de HMA evaluadas en plantas, entre ellas *Rhizoglossum intraradices*, que estimula el desarrollo del sistema radical e incrementa el flujo de nutrientes y agua del suelo hacia la célula vegetal, lo que aumenta los parámetros morfológicos y productivos en maíz, tomate, lechuga, chícharo, frijol, trigo, entre otros (Parihar, Rakshit, Rana, Tiwari y Jatav, 2020; Buzo *et al.*, 2022; Onyeaka, Akinsemolu, Siyanbola y Adetunji, 2024).

Las PGPR son empleadas como biofertilizantes para disminuir la dosis de fertilizantes utilizados en la producción agrícola (Aloo, Tripathi, Makumba y Mbega, 2022; Bhat *et al.*, 2023). *Stenotrophomonas rhizophila* es una PGPR que contribuye a la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, solubilización de nutrientes del suelo, producción de sideróforos, fitohormonas, entre otros (Pérez-Pérez Maxime, Hernández-Ionel, Pérez-Martínez y Del Castillo, 2020; Riaz *et al.*, 2021; Khosravi, Khoshru, Nosratabad y Mitra, 2024). Se ha encontrado que promueve el crecimiento de las plantas y la productividad de hortalizas, frutales, cereales, entre otros (Ipek *et al.*, 2021; Gashash *et al.*, 2022; Zarei, 2022).

Para mantener el equilibrio ecológico, conservar la productividad y mantener la calidad de la producción, es preciso disminuir la aplicación de los fertilizantes sintéticos e incentivar su uso combinado con biofertilizantes, siendo una opción viable para mantener la productividad y calidad de los cultivos manteniendo un equilibrio ecológico, por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto combinado entre HMA (*Rhizogloium intraradices*), PGPR (*Stenotrophomonas rhizophila*) y una dosis reducida de fertilizante sintético en la morfo-productividad y contenido mineral de *Cucumis sativus* L. var. Calypso bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio y Microorganismos Benéficos

El experimento se estableció en un invernadero localizado en el municipio de Xalapa, Veracruz, México a 19° 33' 05.37" N y 96° 56' 40.64" O. *Stenotrophomonas rhizophila* fue proporcionada por el Laboratorio de Biotecnología Microbiana del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, la cual fue cultivada en medio AST (Agar Soya Trypticaseína) a 100 r.p.m por 48 h a 28 °C. Se utilizó inóculo de *Rhizogloium intraradices*, proporcionado por el Laboratorio de Control Biológico de la Facultad de Ciencias Agrícolas Campus Xalapa de la Universidad Veracruzana, con una capacidad colonizadora del 80%. Se utilizaron 5 g conteniendo 25-30 esporas g⁻¹.

Descripción de los Tratamientos y Sustrato

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos: Fertilización sintética al 100% (FS); *Rhizogloium intraradices* más fertilizante al 50% (Ri+FS50%); *Stenotrophomonas rhizophila* más fertilizante al 50% (Sr+FS50%) y *R. intraradices* + *S. rhizophila* + fertilizante al 50% (Ri+Sr+FS50%). Se emplearon 200 plantas por tratamiento distribuidas en camas de 1.5 metros de ancho por 25 metros de largo y 70 cm de alto, en sustrato de tezontle rojo con tamaño de partícula 1 milímetro, el cual se desinfectó con FullGro (AgroScience®) a una dosis de 10 mL L⁻¹ de agua.

Material Vegetal e Inóculo Microbiológico

Se utilizaron semillas de la variedad de pepino Calypso (GeneSeeds®), las cuales se colocaron en charolas de unícel de 200 cavidades, con sustrato compuesto por peat moss y agrolita al 50%. Se mantuvieron en invernadero con riegos cada dos. A los 15 días después de la siembra, con dos hojas verdaderas y altura entre 10-12 cm, fueron trasplantadas e inoculadas directamente en la raíz con 3 mL planta⁻¹ de una concentración de 1×10⁹ UFC mL⁻¹ de *S. rhizophila* y con 5 g planta⁻¹ del inóculo micorrízico (*R. intraradices*). Las plántulas se colocaron en doble hilera con una separación de 30 cm entre plantas y 60 cm entre hileras con una densidad de cuatro plantas por metros cuadrados.

Manejo del Cultivo

Se utilizó un sistema de riego por goteo con cintilla calibre 6000 y una separación entre goteros cada 30 cm programada con un temporizador (Steren) por 24 h. La fertilización sintética se realizó de acuerdo con las recomendaciones de Olalde, Mastache, Carreño, Martínez y Ramírez (2014); la solución nutritiva tuvo una concentración de 200, 50, 250, 200 y 50 mg kg⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, y como fuentes se usaron nitrato de calcio, sulfato de potasio, ácido fosfórico a 85%, sulfato de magnesio, quelato de hierro, sulfato de manganeso, sulfato de cobre y sulfato de zinc, disueltas en un contenedor de 5000 L de agua y manteniendo el pH del agua en 6.2. La dosis fue de 0.5 L planta cada tercer día durante la etapa vegetativa; en la floración y fructificación fue de 2.5 L planta⁻¹. La conductividad eléctrica (CE) del agua de riego fue de 1.5 dS m⁻¹ y concentración de sodio de 5 mg L⁻¹. Se utilizó el fertilizante Bayfolan® forte cada 15 días después del trasplante (DDT) en dosis de 1 mL L⁻¹. Para la dosis reducida al 50% solo se aplicó la mitad del fertilizante sintético.

Variables Evaluadas

A los 47 días después del trasplante (DDT), se cuantificó; altura (cm), diámetro del tallo (mm), número de hojas y por planta se determinó; número de botones, flores masculinas y femeninas, y número de zarcillos. Se evaluó el índice de verdor (Iv) utilizando un medidor de clorofila por reflectancia FieldScout CM-100 (USA). A los 56 DDT se determinó el número y peso de frutos (g), peso total del fruto/planta (kg) y rendimiento (kg m⁻²). El contenido mineral de N, P, K, Ca y Mn en hojas de pepino se determinó a los 47 DDT. Se colectaron al azar hojas intermedias de 10 plantas por tratamiento, se lavaron y colocaron en bolsas de papel y se secaron en estufa (BINDER™ Estufa de secado Classic.Line, serie ED) a 65 °C hasta obtener peso constante. El contenido de N se determinó con un destilador micro Kjeldahl DEK-1 (Arthur H. Thomas, Philadelphia, PA, USA) y se reportó en porcentaje (%).

El contenido de P, K, Ca y Mn se determinaron por espectrometría de inducción de plasma acoplado con un equipo Varian (Walnut Creek, CA, USA) y se reportaron en porcentajes (%). Al final del experimento se cuantificaron las unidades formadoras de colonias (UFC) mediante el método propuesto por Glick, Patten, Holquin y Penrose (1999) y para el clareo y tinción de las raíces y cuantificación de la colonización micorrízica se utilizó la técnica propuesta por Phillips y Hayman (1970).

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos fueron evaluados en un análisis de varianza de una sola vía y las medias de los tratamientos se compararon mediante una prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el paquete estadístico Statistica versión 10.0. (StatSoft, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo Morfológico

A los 47 DDT, la aplicación combinada de *Rhizoglopus intraradices* y *Stenotrophomonas rhizophila* más fertilizante sintético (Ri+Sr+FS50%) estimuló la altura de la planta (190.75 cm), diámetro del tallo (51.56 mm) y número de hojas (45.55), de forma significativa ($P \leq 0.05$) con respecto al tratamiento fertilizado (FS) (150.35 cm; 12.33 mm y 29.90, respectivamente) (Figura 1a). Las plantas con las combinaciones Ri+FS50% y Sr+FS50% mostraron valores superiores respecto a FS (Figura 1b y c). Para la altura de la planta Ri+FS50% no se diferenció ($P \leq 0.05$) del tratamiento FS. En el índice de verdor (Figura 1d) las plantas con la combinación del hongo, bacteria y fertilizante (Ri+Sr+FS50%) fueron superiores al resto de los tratamientos.

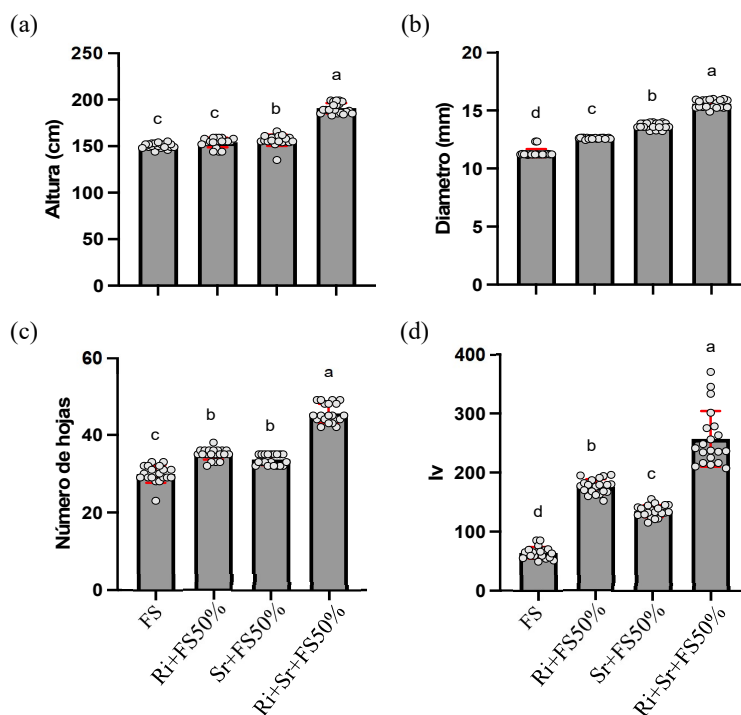


Figura 1. Efecto de *Rhizoglopus intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* y fertilizante sintético sobre la morfología de pepino var. Calypso. Fertilización sintética 100% (FS); HMA+fertilizante 50% (Ri+FS50%); Bacteria+fertilizante 50% (Sr+FS50%); HMA+bacteria+fertilizante 50% (Ri+Sr+FS50%). Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($P \leq 0.05$).
Figure 1. Effect of *Rhizoglopus intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* and synthetic fertilizer on the morphology of cucumber var. Calypso. Synthetic fertilization 100% (FS); AMF+fertilizer 50% (Ri+FS50%); Bacteria+fertilizer 50% (Sr+FS50%); AMF+bacteria+fertilizer 50% (Ri+Sr+FS50%). Different letters symbolize statistical difference ($P \leq 0.05$).

Las variables de la estructura reproductora de la planta con *Rhizoglosum intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* y fertilizante sintético presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con respecto al tratamiento fertilizado sintéticamente al 100% (Cuadro 1).

Diversos estudios han reportado un efecto positivo en el desarrollo morfológico de las plantas cuando son inoculadas con microorganismos benéficos (Acoltzi-Conde, Chimal, Tovar y Díaz, 2024; AbuQamar *et al.*, 2024; Lin *et al.*, 2024), además la co-inoculación de PGPR y HMA más dosis bajas de fertilizantes sintéticos ha promovido efectos positivos en las plantas reduciendo la contaminación ambiental por efecto del uso de agroquímicos y disminuyendo los costos de producción agrícola (Hernández-Montiel *et al.*, 2020; Scagliola *et al.*, 2021; Yadav, Ror, Beniwal, Kumar y Ramakrishna, 2022).

El incremento en el crecimiento de plantas de pepino con *R. intraradices*, *S. rhizophila* y una fertilización sintética reducida al 50%, se debió por una parte a que el HMA promovió una mayor capacidad de exploración de las raíces para absorber nutrientes y agua del sustrato (Tang, Zhang, Yu y Li, 2023; Onyeaka, Akinsemolu, Siyanbola y Adetunji, 2024) y a que la bacteria *S. rhizophila* tiene la capacidad de producir fitohormonas como el ácido indol acético (AIA), la cual induce el crecimiento a través de la división celular y diferenciación de tejidos expresados en un incremento de biomasa vegetal, se caracteriza además por la fijación de nitrógeno, oxidación de azufre elemental y por controlar una amplia gama de patógenos vegetales (Alexander, Singh y Mishra, 2020; Martínez-Reyes, Rodríguez-Zaragoza, Cabirol, Alarcón y Mendoza-López, 2022; Rivas-García *et al.*, 2022).

Por otra parte, el efecto de la aplicación de agentes microbianos en el desarrollo de los órganos reproductivos de las plantas se relaciona principalmente con efectos hormonales (Nakano, Omae y Tsuda, 2022). La aparición de flores femeninas depende de la concentración de etileno desde la antesis, dónde, si fuese alta se producen femeninas, pero si son bajas se producen masculinas (Dalai, Singh y Soni, 2020). Los resultados de este estudio indicaron que los microorganismos inoculados podrían haber generado modificaciones en el perfil hormonal de la planta, ya que la expresión del número de flores femeninas fue mayor en las plantas con *R. intraradices*, *S. rhizophila* y una fertilización sintética reducida al 50%. Existen antecedentes de la producción de auxinas y citoquininas por parte del género *Stenotrophomonas* (Ulrich, Kube, Becker, Schneck y Ulrich, 2021; Zhao, Ding, Xu y Sun, 2024) éstas fitohormonas intervienen en el desarrollo primario de la planta y en la producción de etileno (Kudoyarova *et al.*, 2019; Prakash y Arora, 2019), mientras que el efecto de los HMA en el desarrollo de los órganos reproductores (flores) pudo deberse al estímulo hormonal y a un incremento en la absorción de elementos minerales (Alvarado-Carrillo, Díaz-Franco y Alejandro-Allende, 2018).

El número de zarcillos depende de los niveles de poliaminas, las cuales inciden dentro del ordenamiento espacial de los transcritores definidos dentro de la yema, estos sitios definen el desarrollo de la inflorescencia o tejido foliar que incluye a estas estructuras de sostén (zarcillos), mientras que su desarrollo está vinculado con las concentraciones de giberelinas y citoquininas que son las que promueven de forma transitoria en el estado de per-floración (Kiełkowska y Dziurka, 2021). Chen *et al.* (2021) mencionaron que el crecimiento de zarcillos era un indicador que responde al desarrollo de la planta, y no necesariamente vinculado con procesos hormonales. Respecto a la presente investigación, la validación de los efectos hormonales en el desarrollo de estructuras y órganos de la planta no fue abordado, sin embargo, se puede afirmar que el proceso de desarrollo de la planta favoreció la aparición de zarcillos, quizás relacionado con el efecto de la combinación de la fertilización sintética

Cuadro 1. Análisis para las variables morfológicas (estructura reproductora) de pepino var. Calypso tratado con *Rhizoglosum intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* y fertilizante sintético.

Table 1. Analysis for morphological variables (reproductive structure) of cucumber var. Calypso treated with *Rhizoglosum intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* and synthetic fertilizer.

Tratamiento	Botones	Flores masculinas	Flores femeninas	Zarcillos
FS	12.60±0.75 b	4.45±0.99 a	8.15±0.74 b	12.40±0.50 a
Ri+FS50%	11.55±1.53c	2.65±1.03 b	7.85±0.48 b	8.60±0.68 b
Sr+FS50%	12.05±0.88 bc	2.70±0.73 b	8.00±0.79 b	8.50±0.51 b
Ri+Sr+FS50%	14.45±1.19 a	3.95±0.68 a	11.90±0.44 a	13.00±0.85 a

Fertilización sintética 100% (FS); HMA+fertilizante 50% (Ri+FS50%); Bacteria+fertilizante 50% (Sr+FS50%); HMA+bacteria+fertilizante 50% (Ri+Sr+FS50%). Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Synthetic fertilization 100% (FS); AMF+fertilizer 50% (Ri+FS50%); Bacteria+fertilizer 50% (Sr+FS50%); AMF+bacteria+fertilizer 50% (Ri+Sr+FS50%). Identical letters in the same column indicate no significant differences according to the Tukey's test ($P \leq 0.05$).

y los microorganismos benéficos. El efecto de la fertilización o disponibilidad de nutrientes en el desarrollo de estas estructuras ha sido demostrado por Ajibola y Amujoyegbe (2019) en el cultivo de *Cucumis sativus* y en *Centella asiatica* por Vinolina y Sigalingging (2021), donde observaron que los niveles crecientes de fósforo que utilizaron favorecieron la longitud de zarcillos, en el presente estudio se puede considerar que la combinación tripartita de *R. intraradices*, *S. rhizophila* y una fertilización sintética reducida igualó el efecto de la fertilización sintética del 100% en el desarrollo de órganos de sostén.

Productividad y Minerales

En relación con la productividad, las plantas más Ri+Sr+FS50% se diferenciaron del resto de los tratamientos al promover un mayor número de frutos por planta (8.5) (Figura 2a), peso promedio por fruto (198.50 g) (Figura 2b), peso total del fruto por planta (1.70 kg) (Figura 2c) y rendimiento (15.32 kg) (Figura 2d), con diferencias significativas ($p \leq 0.001$) respecto a las plantas con fertilizante sintético (FS). El tratamiento de las plantas con Ri+FS50% y Sr+FS50% superaron al tratamiento FS.

En el contenido mineral del pepino existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), la fertilización Ri+Sr+FS50% incrementó la presencia de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y manganeso (Mn) con valores de 5.85, 1.33, 5.50 y 3.51% y 87 mg kg⁻¹ respectivamente, en comparación con el tratamiento FS (Cuadro 2). La variante de fertilización Ri+FS50% solo superó al tratamiento FS en el contenido de fósforo y manganeso, mientras que el tratamiento Sr+FS50% lo superó en el contenido de potasio y manganeso. La máxima colonización micorrízica se observó en las plantas con Ri+Sr+FS50% y en las UFC con Sr+FS50%.

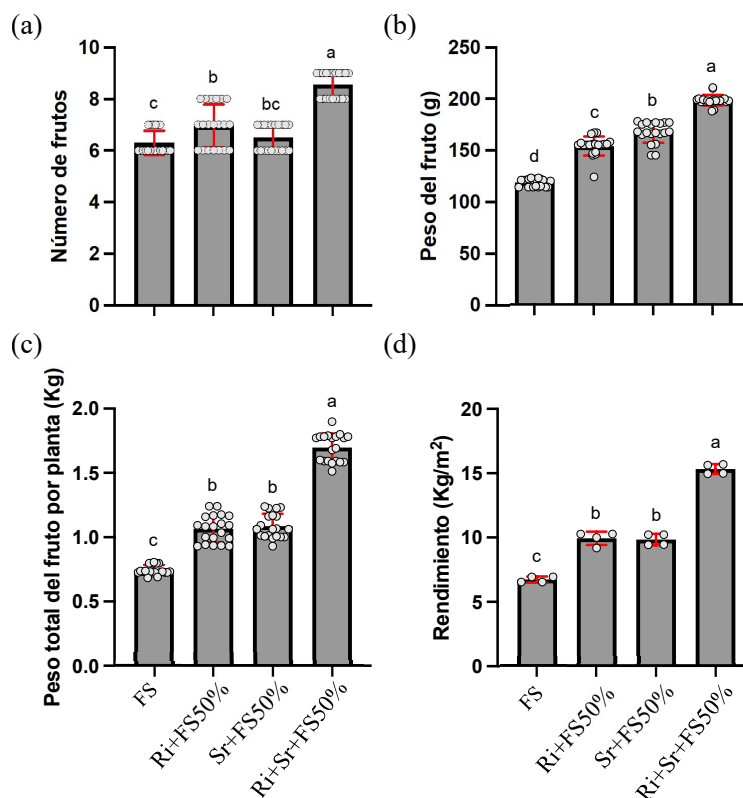


Figura 2. Efecto de *Rhizogloium intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* y fertilizante sintético sobre la productividad de pepino var. Calypso. Fertilización sintética 100% (FS); HMA+fertilizante 50% (Ri+FS50%); Bacteria+fertilizante 50% (Sr+FS50%); HMA+bacteria+fertilizante 50% (Ri+Sr+FS50%). Letras diferentes simbolizan diferencia estadística ($P \leq 0.05$).

Figure 2. Effect of *Rhizogloium intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* and synthetic fertilizer on the productivity of cucumber var. Calypso. Synthetic fertilization 100% (FS); AMF+fertilizer 50% (Ri+FS50%); Bacteria+fertilizer 50% (Sr+FS50%); AMF+bacteria+fertilizer 50% (Ri+Sr+FS50%). Different letters symbolize statistical difference ($P \leq 0.05$).

Cuadro 2. Contenido mineral, porcentaje de colonización y UFC en plantas de pepino var. Calypso tratadas con *Rhizoglosum intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* y fertilizante sintético.**Table 2. Mineral content, percentage of colonization and CFU in cucumber plants var. Calypso treated with *Rhizoglosum intraradices*, *Stenotrophomonas rhizophila* and synthetic fertilizer.**

Tratamiento	Nitrogeno	Fosforo	Potasio	Calcio	Manganeso	Colonización micorrízica	UFC
	----- % -----				mg kg ⁻¹		
FS	4.11±0.5 b	0.36±0.03 c	4.33±0.05 c	2.87±0.02 b	55.1±1.2 d	3.1±2.1c	2.2±1.1c
Ri+FS50%	2.55±0.7 c	0.93±0.05 b	4.56±0.03 b	2.56±0.03 b	62.2±3.1 c	67±2.2 b	1.4±1.5c
Sr+FS50%	3.98±0.4 b	0.34±0.08 c	4.40±0.31 bc	2.73±0.13 b	69.3±1.5 b	3.3±1.1c	98±1.8a
Ri+Sr+FS50%	5.85±0.5 a	1.33±0.18 a	5.50±0.12 a	3.51±0.32 a	87.3±2.1 a	89.1±1.1a	61±2.2b

Fertilización sintética 100% (FS); HMA+fertilizante 50% (Ri+FS50%); Bacteria+fertilizante 50% (Sr+FS50%); HMA+bacteria+fertilizante 50% (Ri+Sr+FS50%). UFC, Unidades Formadoras de Colonias. Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Synthetic fertilization 100% (FS); AMF+fertilizer 50% (Ri+FS50%); Bacteria+fertilizer 50% (Sr+FS50%); AMF+bacteria+fertilizer 50% (Ri+Sr+FS50%). CFU, Colony Forming Units. Identical letters in the same column indicate no significant differences according to Tukey's test ($P \leq 0.05$).

La productividad de los cultivos agrícolas cuando se manejan bajo variantes de fertilización sintética y biológica ha sido mayor en relación con el manejo tradicional con agroquímicos (Bhunja, Bhowmik, Mallick y Mukherjee, 2021; Tian *et al.*, 2022; Shahwar *et al.*, 2023), en particular la combinación de biofertilizantes con dosis reducidas de fertilizantes sintéticos potencia el efecto de los microorganismos sobre el desarrollo morfológico y productivo de las plantas (Hernández-Montiel *et al.*, 2020; Jin *et al.*, 2022).

En el presente estudio, todos los indicadores productivos y de rendimiento del pepino fueron favorecidos por la aplicación de *R. intraradices*, *S. rhizophila* y una fertilización sintética reducida al 50% superando al tratamiento fertilizado sintéticamente al 100%. La aplicación en conjunto de microorganismos más una dosis reducida del fertilizante sintético permitió alcanzar una mayor productividad, destacando el aporte de los nutrientes incorporados al suelo a través de la fertilización sintética, los mecanismos de promoción particulares de cada microorganismo en estudio, en el caso particular del HMA al formar la simbiosis micorrízica (colonización) con la raíz de las plantas de pepino incrementaron su capacidad de absorción de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), minerales traza como manganeso (Mn), magnesio (Mg), zinc (Zn), sulfatos y agua que permiten un mayor crecimiento y producción vegetal (Bhantana *et al.*, 2021; Nasiri, Babaeinejad, Ghanavati y Mohsenifar, 2022; Arcidiacono, Pellegrino, Nuti y Ercoli, 2024). Para *S. rhizophila* diversos mecanismos han sido vinculados en la promoción vegetal destacando la producción de fitohormonas, sideróforos, solubilización de fosforo, fijación biológica de nitrógeno, producción de compuestos volátiles, entre otros (Ghosh, Chatterjee y Mandal, 2020; Elhosieny, Zayed, Selim, Yassen y Abdel Aziz, 2023; Zhang *et al.*, 2024).

En relación con el contenido de minerales en las hojas de pepino, Diagne *et al.* (2020) señalaron que la principal función de los HMA es mejorar la absorción de diversos nutrientes del suelo a partir de una mayor exploración del volumen del suelo, sin embargo, el contenido de K, Ca y Mn no se vio influenciado con la presencia del HMA en las plantas, lo cual se relaciona con el efecto antagónico que se establece entre los minerales y que no involucra a los microorganismos o simbiosis (Xie, Cakmak, Wang, Zhang y Guo, 2021). La absorción de minerales por parte de las plantas colonizadas por HMA y rizobacterias varía en función de la especie del microorganismo y la planta huésped (Mia, Naher, Panhwar y Islam, 2017; Kheyri, Moghaddam y Farhadi, 2022). En el contenido mineral de las hojas con el tratamiento de *R. intraradices*, *S. rhizophila* y una fertilización sintética reducida al 50%, se cuantificó una mayor colonización micorrízica y por consecuencia se observaron los mayores valores de minerales en relación con el resto de los tratamientos. Al respecto, Chandran, Meena y Swapnil (2021) comentan que las comunidades bacterianas benéficas asociadas con HMA potencian la micorrización y por consecuencia se mejoran todos los parámetros de crecimiento y productivos de las plantas. De forma general se ha demostrado que los HMA regulan, mediante la interrupción de factores de nodulación (NOD), la colonización bacteriana sea patógena o benéfica, asegurando de esta manera un nicho para su desarrollo (Saia y Jansa, 2022).

CONCLUSIONES

La inoculación con *Rhizoglyphus intraradices* y *Stenotrophomonas rhizophila* más una dosis reducida de fertilizante sintético al 50%, mejoró las variables morfológicas y de producción del pepino. La disminución de la aplicación de agroquímicos en la agricultura es una prioridad a nivel mundial, reduciendo los costos de producción y la contaminación ambiental, salvaguardando la salud humana y animal. Los resultados de este trabajo, destaca la importancia de incorporar microorganismos benéficos en el manejo agronómico de las plantas cultivadas garantizando una agricultura sostenible. En futuros trabajos, se contempla integrar ambos microorganismos con dosis menores del 50% de fertilizantes sintéticos en pepino.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Todos los datos generados durante este estudio se incluyen en este artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: L.L.C., L.G.H.M. y P.P.R. Metodología: L.L.C., L.G.H.M., J.R. y R.J.H.P. Análisis formal: L.L.C., B.M.A., L.G.H.M. y J.R. Software: B.M.A., J.R. y R.J.H.P. Escritura, revisión y edición: L.L.C., P.P.R. y L.G.H.M. Supervisión: L.L.C., B.M.A. y L.G.H.M.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ciencias Agrícolas Campus Xalapa de la Universidad Veracruzana por el apoyo para la realización de este proyecto.

LITERATURA CITADA

- AbuQamar, S. F., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Desoky, E. S. M., Elrys, A. S., Abd El-Mageed, T. A., ... & El-Tarabily, K. A. (2024). Halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria improve soil fertility and plant salinity tolerance for sustainable agriculture - A review. *Plant Stress*, 12, 100482. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100482>
- Acoltzi-Conde, M. C., Chimal-Sánchez, E., Tovar-Soto, A., & Díaz-Reyes, J. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi consortia in six vegetable crops in the Tepeaca Valley, Puebla, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-11 <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1783>
- Ajibola, O., V., & Amujoyegbe, B. (2019). Effect of seasons, mulching materials, and fruit quality on a cucumber (*Cucumis sativus* L.) Variety. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 3(2), 1-11. <https://doi.org/10.9734/ajahr/2019/v3i229996>
- Alexander, A., Singh, V. K., & Mishra, A. (2020). Halotolerant PGPR *Stenotrophomonas maltophilia* BJ01 induces salt tolerance by modulating physiology and biochemical activities of arachis hypogaea. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.568289>
- Aloo, B. N., Tripathi, V., Makumba, B. A., & Mbega, E. R. (2022). Plant growth-promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1002448>
- Alvarado-Carrillo, M., Díaz-Franco, A., & Alejandro-Allende, F. (2018). Gallinaza, micorriza arbuscular y fertilización química reducida en la productividad de calabacita y pepino. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 273-279. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.02.08>

- Arcidiacono, M., Pellegrino, E., Nuti, M., & Ercoli, L. (2024). Field inoculation by arbuscular mycorrhizal fungi with contrasting life-history strategies differently affects tomato nutrient uptake and residue decomposition dynamics. *Plant and Soil*, 500, 105-127. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05995-8>
- Bhantana, P., Rana, M. S., Sun, X. C., Moussa, M. G., Saleem, M. H., Syaifudin, M., ... & Hu, C. X. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi and its major role in plant growth, zinc nutrition, phosphorous regulation and phytoremediation. *Symbiosis*, 84, 19-37. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00756-6>
- Bhat, M. A., Mishra, A. K., Jan, S., Bhat, M. A., Kamal, M. A., Rahman, S., ... & Jan, A. T. (2023). Plant growth promoting rhizobacteria in plant health: a perspective study of the underground interaction. *Plants*, 12(3), 1-21. <https://doi.org/10.3390/plants12030629>
- Bhunja, S., Bhowmik, A., Mallick, R., & Mukherjee, J. (2021). Agronomic efficiency of animal-derived organic fertilizers and their effects on biology and fertility of soil: A review. *Agronomy*, 11(5), 1-25. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050823>
- Buzo, F. D. S., Garcia, N. F. S., Garé, L. M., Gato, I. M. B., Martins, J. T., Martins, J. O. M., ... & Arf, O. (2022). Phosphate fertilization and mycorrhizal inoculation increase corn leaf and grain nutrient contents. *Agronomy*, 12(7), 1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071597>
- Chandran, H., Meena, M., & Swapnil, P. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture. *Sustainability*, 13(19), 1-30. <https://doi.org/10.3390/su131910986>
- Chen, Y., Wen, H., Pan, J., Du, H., Zhang, K., Zhang, L., ... & Wang, G. (2021). CsUFO is involved in the formation of flowers and tendrils in cucumber. *Theoretical and Applied Genetics*, 134, 2141-2150. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03811-4>
- Dalai, S., Singh, M., & Soni, S. (2020). Yield and yield traits of cucumber (*Cucumis sativus* L.) as influenced by foliar application of plant growth regulators. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(3), 121-126. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.903.015>
- Dhall, R. K., Kaur, H., Manchanda, P., & Sharma, E. (2024). Recent advances in genetics and molecular breeding of parthenocarpic cucumber (*Cucumis sativus* L.) under protected conditions. *Euphytica*, 220(7), 104. <https://doi.org/10.1007/s10681-024-03366-7>
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P. I., Fall, D., Hocher, V., & Svistoonoff, S. (2020). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. *Diversity*, 12(10), 1-25. <https://doi.org/10.3390/d12100370>
- Elhosiény, A. A. E., Zayed, M. S., Selim, S. M., Yassen, A. M., & Abdel-Aziz, N. H. (2023). *Stenotrophomonas rhizophila* a novel plant-associated bacterium with distinguished PGPRs properties. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 31(1), 1-10. <https://doi.org/10.21608/ajs.2023.159562.1493>
- Feng, J., Zhang, L., Tang, X., Xia, X., Hu, W., & Zhou, P. (2021). Season and geography induced variation in sea cucumber (*Stichopus japonicus*) nutritional composition and gut microbiota. *Journal of Food Composition and Analysis*, 101, 103838. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103838>
- Gashash, E. A., Osman, N. A., Alsahli, A. A., Hewait, H. M., Ashmawi, A. E., Alshallash, K. S., ... & Ibrahim, M. F. (2022). Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and cyanobacteria on botanical characteristics of tomato (*Solanum lycopersicon* L.) plants. *Plants*, 11(20), 1-16. <https://doi.org/10.3390/plants11202732>
- Ghosh, R., Chatterjee, S., & Mandal, N. C. (2020). *Stenotrophomonas*. En M. Kumar, J. S. Singh, & A. Varma (Eds.). *Beneficial microbes in agroecology* (pp. 427-442). San Diego, CA USA: Academic Press.
- Glick, B. R., Patten, C. L., Holquin, G., & Penrose, D. M. (1999) *Biochemical and genetic mechanisms used by plant growth promoting bacteria*. London: Imperial College Press.
- Hernández-Montiel, L. G., Murillo-Amador, B., Chiquito-Contreras, C. J., Zuñiga-Castañeda, C. E., Ruiz-Ramírez, J., & Chiquito-Contreras, R. G. (2020). Morpho-productive response of bell pepper plants biofertilized with *Pseudomonas putida* and reduced dosage of synthetic fertilizers in greenhouse. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 1-14. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.651>
- Hnini, M., Rabeh, K., & Oubohssaine, M. (2024). Interactions between beneficial soil microorganisms (PGPR and AMF) and host plants for environmental restoration: A systematic review. *Plant Stress*, 11, 100391. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100391>
- Ipek, M., Arıkan, Ş., Eşitken, A., Pırlak, L., Turan, M., & Dönmez, M. F. (2021). Effects of some plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on growth and nutrition of apple Cv. "Braeburn" under high lime soil condition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(5), 432-442. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1849256>
- Jin, N., Jin, L., Wang, S., Li, J., Liu, F., Liu, Z., ... & Yu, J. (2022). Reduced chemical fertilizer combined with bio-organic fertilizer affects the soil microbial community and yield and quality of lettuce. *Frontiers in Microbiology*, 13, 863325. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.863325>
- Kheyri, Z., Moghaddam, M., & Farhadi, N. (2022). Inoculation efficiency of different mycorrhizal species on growth, nutrient uptake, and antioxidant capacity of *Calendula officinalis* L.: a comparative study. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 1160-1172. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00721-8>
- Khosravi, H., Khoshru, B., Nosratabad, A. F., & Mitra, D. (2024). Exploring the landscape of biofertilizers containing plant growth-promoting rhizobacteria in Iran: Progress and research prospects. *Current Research in Microbial Sciences*, 7, 100268. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100268>
- Kiełkowska, A., & Dziurka, M. (2021). Changes in polyamine pattern mediates sex differentiation and unisexual flower development in monoecious cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Physiologia plantarum*, 171(1), 48-65. <https://doi.org/10.1111/ppl.13197>
- Kudoyarova, G., Arkhipova, T., Korshunova, T., Bakaeva, M., Loginov, O., & Dodd, I. C. (2019). Phytohormone mediation of interactions between plants and non-symbiotic growth promoting bacteria under edaphic stresses. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01368>
- Lin, L., Wu, X., Deng, X., Lin, Z., Liu, C., Zhang, J., ... & Xu, Z. (2024). Mechanisms of low cadmium accumulation in crops: A comprehensive overview from rhizosphere soil to edible parts. *Environmental Research*, 245, 118054. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.118054>
- Martínez-Reyes, C. M., Rodríguez-Zaragoza, S., Cabirol, N., Alarcón, A., & Mendoza-López, M. R. (2022). Effect of predation by Colpoda sp. in nitrogen fixation rate of two free-living bacteria. *Microbial Ecology*, 83, 1026-1035. <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01813-9>
- Mia, M. B., Naher, U. A., Panhwar, Q. A., & Islam, M. T. (2017). Growth promotion of nonlegumes by the inoculation of *Bacillus* species. *Bacilli and Agrobiotechnology*, 57-76. En: Islam, M., Rahman, M., Pandey, P., Jha, C., Aeron, A. (Eds.). *Bacilli and Agrobiotechnology* (pp. 57-76). Cham, Switzerland: Springer.
- Nakano, M., Omae, N., & Tsuda, K. (2022). Inter-organismal phytohormone networks in plant-microbe interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 68, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102258>
- Naseer, M. A., Zhang, Z. Q., Mukhtar, A., Asad, M. S., Wu, H. Y., Yang, H., & Zhou, X. B. (2024). Strigolactones: a promising tool for nutrient acquisition through arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis and abiotic stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109057>
- Nasiri, K., Babaeinejad, T., Ghanavati, N., & Mohsenifar, K. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi affecting the growth, nutrient uptake and phytoremediation potential of different plants in a cadmium-polluted soil. *Biometals*, 35, 1243-1253. <https://doi.org/10.1007/s10534-022-00439-9>
- Nie, W., He, Q., Guo, H., Zhang, W., Ma, L., Li, J., & Wen, D. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi: Boosting crop resilience to environmental stresses. *Microorganisms*, 12(12), 1-36. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12122448>
- Olalde, G. V. M., Mastache, L. Á. A., Carreño, R. E., Martínez, S. J., & Ramírez, L. M. (2014). El sistema de tutorado y poda sobre el rendimiento de pepino en ambiente protegido. *Interciencia*, 39(10), 712-717.

- Onyeaka, H. N., Akinsemolu, A. A., Siyanbola, K. F., & Adetunji, V. A. (2024). Green microbe profile: *Rhizophagus intraradices*-a review of benevolent fungi promoting plant health and sustainability. *Microbiology Research*, 15(2), 1-22. <https://doi.org/10.3390/microbiolres15020068>
- Parihar, M., Rakshit, A., Rana, K., Tiwari, G., & Jatav, S. S. (2020). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation in mitigating salt stress of pea (*Pisum Sativum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(11), 1545-1559. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1784917>
- Pérez-Pérez, R., Maxime, O., Hernández-Ionel, N. M. C., Pérez-Martínez, S., & Del Castillo, D. S. (2020). Aislamiento y caracterización de *Stenotrophomonas* asociada a rizosfera de maíz (*Zea Mays* L.). *Cultivos Tropicales*, 41(2), 1-17.
- Phillips, J. M., & 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(1), 158-161.
- Prakash, J., & Arora, N. K. (2019). Phosphate-solubilizing *Bacillus* sp. enhances growth, phosphorus uptake and oil yield of *Mentha arvensis* L. *3 Biotech*, 9, 126. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1660-5>
- Riaz, U., Murtaza, G., Anum, W., Samreen, T., Sarfraz, M., & Nazir, M. Z. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers and biopesticides. En K.R. Hakeem, G.H. Dar, M.A. Mehmood, R.A. Bhat (Eds). *Microbiota and Biofertilizers*. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3_11
- Rivas-García, T., Murillo-Amador, B., Reyes-Pérez, J. J., Chiquito-Contreras, R. G., Preciado-Rangel, P., Ávila-Quezada, G. D., ... & Hernandez-Montiel, L. G. (2022). *Debaryomyces hansenii*, *Stenotrophomonas rhizophila*, and ulvan as biocontrol agents of fruit rot disease in muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Plants*, 11(2), 1-15. <https://doi.org/10.3390/plants11020184>
- Rojas-Rodríguez, I. S., Coronado-García, M. A., Rossetti-López, S. R., & Beltrán-Morales, F. A. (2020). Contaminación por nitratos y fosfatos provenientes de la actividad agrícola en la cuenca baja del río Mayo en el estado de Sonora, México. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 247-256. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.642>
- Saia, S., & Jansa, J. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi: the bridge between plants, soils, and humans. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.875958>
- Scagliola, M., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Cesco, S., Crecchio, C., & Pii, Y. (2021). Bioinoculants as promising complement of chemical fertilizers for a more sustainable agricultural practice. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.622169>
- Shahwar, D., Mushtaq, Z., Mushtaq, H., Alqarawi, A. A., Park, Y., Alshahrani, T. S., & Faizan, S. (2023). Role of microbial inoculants as bio fertilizers for improving crop productivity: A review. *Heliyon*, 9(6), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16134>
- Statsoft (2011). *STATISTICA User's Guide*. Version 10. Tulsa, OK, USA: Statsoft Inc.
- Tang, C., Zhang, Z., Yu, L., & Li, Y. (2023). Research progress of arbuscular mycorrhizal fungi promoting citrus growth. *Horticulturae*, 9(11), 1-12. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111162>
- Tian, S., Zhu, B., Yin, R., Wang, M., Jiang, Y., Zhang, C., ... & Liu, M. (2022). Organic fertilization promotes crop productivity through changes in soil aggregation. *Soil Biology and Biochemistry*, 165, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108533>
- Ulrich, K., Kube, M., Becker, R., Schneck, V., & Ulrich, A. (2021). Genomic analysis of the endophytic *Stenotrophomonas* strain 169 reveals features related to plant-growth promotion and stress tolerance. *Frontiers in Microbiology*, 12, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.687463>
- Vinolina, N. S., & Sigalingging, R. (2021). *Centella asiatica* tendrill growth of Samosir-Indonesia accession. *Earth and Environmental Science*, 883(1), 1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/883/1/012057>
- Wu, W. J., Zou, Y. N., Hashem, A., Avila-Quezada, G. D., Abd-Allah, E. F., & Wu, Q. S. (2023). *Rhizoglossum intraradices* is more prominent in improving soil aggregate distribution and stability than in improving plant physiological activities. *Agronomy* 13(5), 1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051427>
- Xie, K., Cakmak, I., Wang, S., Zhang, F., & Guo, S. (2021). Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *The Crop Journal*, 9(2), 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.005>
- Yadav, R., Ror, P., Beniwal, R., Kumar, S., & Ramakrishna, W. (2022). *Bacillus* sp. and arbuscular mycorrhizal fungi consortia enhance wheat nutrient and yield in the second-year field trial: Superior performance in comparison with chemical fertilizers. *Journal of Applied Microbiology*, 132(3), 2203-2219. <https://doi.org/10.1111/jam.15371>
- Zarei, T. (2022). Balancing water deficit stress with plant growth-promoting rhizobacteria: A case study in maize. *Rhizosphere*, 24, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100621>
- Zhang, Y., Li, Z., Wei, S., Xu, C., Chen, M., Sang, J., ... & Ye, X. (2024). Antifungal activity and mechanisms of 2-Ethylhexanol, a volatile organic compound produced by *Stenotrophomonas* sp. NAU1697, against *Fusarium oxysporum* f. sp. cucumerinum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(27), 15213-15227. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c09851>
- Zhao, Y., Ding, W. J., Xu, L., & Sun, J. Q. (2024). A comprehensive comparative genomic analysis revealed that plant growth promoting traits are ubiquitous in strains of *Stenotrophomonas*. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1-20. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1395477>