

Evaluación de hongos micorrízicos arbusculares aislados en la rizosfera de dos plantas silvestres inoculados en *Zea mays* y *Phaseolus vulgaris*, cultivos de importancia económica

Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from the rhizosphere of two wild plants inoculated in *Zea mays* and *Phaseolus vulgaris*, crops of economic importance

Jaime Naranjo-Moran ¹ , Nicolle Vargas-Huacón ² , Allison Morales-Núñez² 

Siembra 13 (1) (2026): e7691

DOI: [10.29166/siembra.v13i1.7691](https://doi.org/10.29166/siembra.v13i1.7691)

Recibido: 02/01/2025 /

Revisado: 15/04/2025 / 14/05/2025 / 19/07/2025 /
02/09/2025

Aceptado: 04/05/2026



¹ Universidad Politécnica Salesiana, Grupo de Investigación en Aplicaciones Biotecnológicas [GIAB], Carrera de Biotecnología. Campus María Auxiliadora, km 19,5 Vía a La Costa. Código Postal 090901. Guayaquil, Ecuador.

² Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Biotecnología. Campus María Auxiliadora, km 19,5 Vía a La Costa. Código Postal 090901. Guayaquil, Ecuador.

Correspondencia: jnaranjo@ups.edu.ec

Resumen

Los hongos micorrízicos arbusculares [HMA] establecen simbiosis mutualistas con las raíces de las plantas, mejorando la absorción de nutrientes y agua a cambio de carbohidratos, lo que potencia el crecimiento vegetal, la resistencia al estrés y la salud del ecosistema. Este estudio se enfocó en desarrollar un inoculante biológico a partir de HMA nativos de un bosque seco, utilizando *Rhynchosia minima* y *Cenchrus echinatus* como plantas trampa para su obtención. La metodología implicó la identificación de las micorrizas arbusculares de suelo rizosférico de cada especie vegetal, donde se recolectó muestras de raíz y suelo, para luego realizar preparación del inóculo con antibióticos (gentamicina y estreptomycin). La inoculación se realizó mediante la aplicación directa del inóculo a las raíces de plantas de maíz (*Zea mays*) y fréjol (*Phaseolus vulgaris*) en un diseño de bloques aleatorizados con tres tratamientos (T1 = control sin inóculo de micorrizas; T2 = micorrizas + antibiótico; T3 = solo con inóculo micorrizas) y seis réplicas, el sustrato fue esterilizado estaba constituido por una proporción 1:1 de turba y arena. El crecimiento vegetal y la colonización micorrízica se evaluaron y compararon mediante la prueba t de Student. Los resultados revelaron una colonización micorrízica superior al 50% y una abundancia de esporas (101-132 esporas g⁻¹ de suelo) en las plantas trampa, con predominio de los géneros *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora* y *Scutellospora*. La inoculación con estos HMA nativos incrementó la colonización en maíz (32%) y fréjol (37%) en comparación con los controles de cada especie no inoculados, demostrando la efectividad del inoculante desarrollado. En conclusión, el uso de hongos micorrízicos arbusculares nativos representa una estrategia eficaz para mejorar el crecimiento de cultivos importantes como el maíz y el fréjol, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles.

Palabras clave: biofertilizante, bioprospección, colonización micorrízica, esporas, simbiosis.

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi [AMF] establish mutualistic symbioses with plant roots, enhancing nutrient and water uptake in exchange for carbohydrates, which boosts plant growth, stress resistance, and ecosystem health. This study focused on developing a biological inoculant from native AMF of a dry forest, utilizing *Rhynchosia minima* and *Cenchrus echinatus* as trap plants for their collection. The methodology involved the identification of arbuscular mycorrhizae from the rhizospheric soil

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

Periodicidad: semestral

vol. 13, núm 1, 2026

siembra.fag@uce.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución - NoComercial

© Los Autores 2026

of each plant species, where root and soil samples were collected, followed by the preparation of the inoculum with antibiotics (gentamicin and streptomycin). Inoculation was performed by direct application of the inoculum to the roots of maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) plants in a randomized block design with three treatments (T1 = control without mycorrhizal inoculum; T2 = mycorrhizae + antibiotic; T3 = mycorrhizal inoculum only) and six replicates; the sterilized substrate consisted of a 1:1 ratio of peat and sand. Plant growth and mycorrhizal colonization were evaluated and compared using Student's t-test. The results revealed a mycorrhizal colonization exceeding 50% and a spore abundance (101–132 spores g⁻¹ of soil) in the trap plants, with a predominance of the genera *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora*, and *Scutellospora*. Inoculation with these native AMF increased colonization in maize (32%) and beans (37%) compared to the non-inoculated controls of each species, demonstrating the effectiveness of the developed inoculant. In conclusion, the use of native arbuscular mycorrhizal fungi represents an effective strategy to improve the growth of important crops such as maize and beans, contributing to more sustainable agricultural practices.

Keywords: biofertilizer, bioprospecting, mycorrhizal colonization, spores, symbiosis

1. Introducción

Los hongos micorrízicos arbusculares [HMA] son microorganismos simbióticos esenciales de la agricultura sostenible, donde actúan como bioestimulantes al promover el crecimiento de las plantas y como bioprotectores al aumentar su tolerancia al estrés ambiental (Shi et al., 2023). Su importancia ecológica se extiende más allá de estos beneficios directos para las plantas. Se ha demostrado que las extensas redes micorrízicas contribuyen a la captura de carbono, con las plantas transfiriendo aproximadamente 13 gigatoneladas de CO₂ por año a estos hongos (Hawkins et al., 2023). Este proceso resalta el papel crucial de las micorrizas en el funcionamiento de los ecosistemas, ofreciendo servicios que van mucho más allá de la simple nutrición vegetal. Por lo tanto, comprender y aprovechar estas complejas simbiosis es fundamental para desarrollar prácticas agrícolas y forestales más sostenibles, capaces de mitigar el estrés en las plantas, optimizar la adquisición de nutrientes y contribuir a la salud del planeta (Martin et al., 2024).

Para desentrañar el complejo entramado de la ecofisiología y los servicios ecosistémicos proporcionados por los distintos tipos de micorrizas arbusculares, es crucial la realización de ensayos a gran escala complementados con análisis detallados en condiciones controladas (Tedersoo y Bahram, 2019). La composición de las comunidades de hongos que colonizan las raíces no es aleatoria, sino que parece ser el resultado de una doble influencia: la selección de hongos por parte de la planta y las presiones ejercidas por el entorno (Noguchi y Toju, 2024). Esta intrincada relación, muy evidente en hongos ectomicorrízicos, muestran sensibilidad a los cambios ambientales en ambientes ricos en nutrientes (Zhang et al., 2024), tiene consecuencias significativas en la dinámica de las comunidades vegetales. La presencia de hongos micorrízicos puede, de hecho, alterar a profundidad su composición y estructura (Tedersoo et al., 2020).

La especialización de los microbios del suelo en plantas silvestres específicas emerge como un factor clave para el éxito de las nuevas plántulas, actuando como un mecanismo que modela la composición de las comunidades vegetales a través del tiempo (Eck et al., 2019).

La inoculación con HMA induce respuestas fisiológicas tempranas beneficiosas en plantas bajo estrés salino-alcálico. A los 15 días posteriores a la inoculación, se ha constatado un desarrollo radicular mejorado y un incremento en la producción de metabolitos secundarios (Fan et al., 2024). En concordancia, estudios recientes han demostrado que la inoculación con *Funneliformis mosseae* estimula vías metabólicas enriquecidas en fructosa y manosa, así como la biosíntesis de ácidos grasos y flavonoides (Shao et al., 2023). Esta activación metabólica temprana podría estar relacionada con una mayor eficiencia en la adquisición de fósforo [P] en las etapas iniciales del desarrollo, en particular ante la presencia de una conectividad establecida entre comunidades de *Rhizophagus sp.* y *Streptomyces sp.* (Jin et al., 2024). No obstante, las prácticas de fertilización en sistemas agrícolas convencionales pueden ejercer un efecto negativo sobre la diversidad de HMA, observándose una disminución en el número de especies (Ma et al., 2021).

Mientras que la fertilización química tiende a reducir la dependencia de las plantas en su asociación con HMA, la fertilización orgánica parece fortalecer esta simbiosis en sistemas agrícolas (Liu et al., 2020). De hecho, los sistemas de producción orgánica favorecen interacciones complejas entre bacterias y hongos, promoviendo una comunidad microbiana del suelo más dinámica (Matteoli et al., 2024). Es importante destacar que el proceso de colonización de las raíces por HMA conlleva el reclutamiento de un ensamblaje microbiano específico, lo que sugiere la existencia de una “firma microbiana” distintiva asociada a los HMA de cada planta (Zhou et al., 2020). El objetivo de la investigación fue desarrollar un inoculante

biológico a partir de hongos micorrízicos arbusculares nativos de un remanente de bosque seco, mediante dos especies vegetales silvestres como fuente trampa, con el fin de mejorar el crecimiento de dos cultivos de gran importancia agrícola: el maíz y el fréjol.

2. Materiales y Métodos

2.1. Zona de estudio

La exploración de micorrizas arbusculares en especies silvestres se realizó en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil en el remanente boscoso perteneciente al Campus María Auxiliadora ubicado en el km 19 vía La Costa (Delgado-Bohórquez et al., 2024). Se hizo un censo de las especies vegetales más representativas en el área estudiada cuyas coordenadas fueron de 2°11'55"S 80°02'31"W, a partir del punto de muestreo geográfico se realizó tres parcelas circulares con un diámetro de cinco metros, con el fin de identificar dos plantas, una de la familia Fabaceae y otra de la familia Poaceae. La identificación de las especies vegetales en campo se realizó con la aplicación PlanNet desarrollada por el Tecnológico de Costa Rica, bases de datos de Ecuador como Bioweb (<https://bioweb.bio/>) y el catálogo de plantas vasculares de Ecuador del Missouri Botanical Garden (<https://www.mobot.org/mobot/research/ecuador/welcome.sp.shtml>) (Naranjo-Morán et al., 2024). Con los datos de los valores promedios de las parcelas circulares se calculó los índices de diversidad vegetal de Margalef y Shannon.

El Índice de Margalef [DMg] se enfoca en la riqueza de especies, es decir, el número de especies presentes en la muestra, y se ajusta por el tamaño total de la muestra (ecuación [1]). Donde S es el número total de especies presentes en la muestra, N es el número total de individuos de todas las especies en la muestra. Y $\ln(N)$ es el logaritmo natural del número total de individuos.

$$DMg = \frac{S-1}{\ln(N)} \quad [1]$$

El Índice de Shannon [H] considera tanto el número de especies como la equidad en la distribución de sus abundancias. Una comunidad con muchas especies y abundancias relativas similares tendrá un valor de H alto (ecuación [2]).

$$H = -\sum_{i=1}^S (p_i \times \ln(p_i)) \quad [2]$$

Donde S es el número total de especies presentes en la muestra, p_i es la proporción de individuos de la es-

pecie i respecto al número total de individuos ($p_i = n_i / N$, donde n_i es el número de individuos de la especie i , N es el número total de individuos de todas las especies), $\ln(p_i)$ es el logaritmo natural de la proporción de la especie i . $\sum$ indica la sumatoria para todas las especies desde $i = 1$ hasta S .

2.2. Análisis de la simbiosis micorrízica

En el área de estudio se realizó un pequeño inventario de las especies de Fabaceae (leguminosas) y Poaceae (gramíneas) que fueron dominantes y abundantes en el entorno de remanente de bosque seco tropical donde desea obtener el inóculo. Esto implica identificar las especies que forman una parte significativa de la biomasa vegetal en el área de 500 metros cuadrados. Considerando los diferentes tipos de hábitats, por ejemplo, área de pastizales, bordes de caminos, áreas perturbadas, vegetación nativa. Las composiciones florísticas vegetales pueden ser abundantes en nichos específicos, la familia Poaceae lidera con frecuencia en el matorral herbáceo (Bonifaz, 2023).

Una vez seleccionada la especie trampa de cada familia vegetal se tomó muestras por triplicado de raíces (60 g) y suelo (600 g), se evidenció la simbiosis micorrízica mediante la tinción de raíces colonizadas con azul de tripano, para esto se tomó raicillas finas y fueron lavadas con abundante agua potable, dentro de un tamiz de 250 μ m, una vez lavadas se agregaron a un envase ámbar de 10 ml, se adicionó una solución de KOH al 10% con un autoclavado de 30 minutos, para luego limpiar el líquido agregar peróxido de hidrógeno al 9% durante 30 minutos, se realizó otro lavado total, luego se adicionó HCl al 1%, por 30 minutos se retiró el excedente y por último se adicionó la solución de azul de tripano al 0.05% en lactoglicerina (Ho-Plágaro et al., 2020) y se autoclavó por 30 minutos, para luego realizar el montaje en porta y cubre objeto, continuar con la observación al microscopio compuesto a un campo de 40X. Para determinar el porcentaje de colonización de cada muestra se utilizó la fórmula propuesta por Sieverding (1983) (ecuación [3]).

$$\text{Colonización (\%)} = \frac{\text{No de campos infectados}}{\text{No de campos observados}} \times 100 \quad [3]$$

Para determinar la cantidad de esporas presentes en la rizosfera se utilizó 100 gramos de suelo circundante a las raíces de las plantas trampas, se adiciona en un vaso precipitado de 1 Litro y se llena 500 ml de agua, se agita y se afora a 1 litro para luego verter tres veces, en tres tamices con malla de 250, 106 y 45 μ m, se colecta el sedimento del último tamiz en tubo falcom de 50 ml, se preparó una solución de sacarosa

y tween 20, se preparó en cada tubo con 10 ml de la muestra y 10 ml de la solución azucarada para luego centrifugar a 500 rpm durante 5 minutos en el equipo Thermo Scientific™ (Sieverding et al., 1991). Para la caracterización taxonómica se realizó un montaje de las esporas más distintivas en placas porta objeto para identificar a nivel de género con el manual de Colección internacional de hongos micorrízicos arbusculares (vesiculares) INVAM anclado a la Universidad de Kansas – Estados Unidos (<https://invam.ku.edu/>), sitio web del profesor Janusz Blaszowski que se encuentra en el siguiente enlace http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota_2/Blaszowski%20Janusz.html, perteneciente a la Universidad Tecnológica de Pomerania Occidental, Szczecin, Polonia. La identificación de esporas de hongos micorrízicos se realiza mediante la observación microscópica de sus características morfológicas, incluyendo forma, tamaño y color de la pared. Un aspecto clave es la estructura de la pared, con sus capas y ornamentaciones, así como la morfología de la hifa de sustentación y la presencia de estructuras accesorias. Finalmente, la reacción al reactivo de Melzer complementa el análisis, permitiendo la distinción entre géneros y especies de HMA.

2.3. Obtención del inóculo micorrízico

El inoculante micorrízico nativo de Poaceae y Fabaceae se obtuvo mediante el método de tamizaje húmedo descrito por Sieverding (1991), el consorcio de inóculo de HMA de cada especie trampa (*Rhynchosia minima* y *Cenchrus echinatus*) contenía una distribución cosmopolita con los géneros que poseen una alta capacidad de adaptación a diversos entornos edafoclimáticos. Entre estos destaca el género *Glomus*, conocido por su ubicuidad y eficiencia en la colonización de una amplia gama de plantas. Los inóculos cosmopolitas obtenidos contienen los géneros *Claroideoglomus* y *Funneliformis*, en menor cantidad, estos géneros valorados por su capacidad para mejorar la nutrición vegetal y la tolerancia al estrés en diferentes sistemas agrícolas y naturales (Bilgili, 2025). El consorcio tiende a ser multifacético como la hace la especie *Gigaspora margarita* la cual proyecta un efecto tipo cascada en la simbiosis con la planta que coloniza (Bonfante, 2022). La selección de estos géneros se basa en su probada eficacia y su capacidad para establecer simbiosis funcionales con una vasta diversidad de especies vegetales a nivel mundial. Una vez con los inóculos de esporas extraídas de cada especie vegetal, se reservó en un tubo falcom de 50 ml, y se le incorporó una solución 20 ml antibiótica que contenía 280 mg de gentamicina y 1 g de estreptomina (Pérez et al., 2011). Las esporas fueron sometidas a este tra-

tamiento antibiótico para mitigar la carga bacteriana se dejó en reposo por un periodo de 2 horas. Cada inóculo contenía una cantidad promedio de 546 esporas suspendida en 25 ml agua destilada, finalmente se almacenó en un refrigerador a 10 °C para ser utilizados en la inoculación de raíz desnuda de plántulas de maíz y fréjol.

2.4. Diseño experimental

Para evaluar la efectividad de este inoculante, se desarrolló un ensayo experimental con dos bloques aleatorizados y tres tratamientos: T1 (control sin micorrizas), T2 (micorrizas + antibiótico) y T3 (solo con micorrizas), con seis réplicas para cada tratamiento. Se utilizaron semillas individuales de maíz híbrido amarillo duro variedad “Hércules” y fréjol “Rojo moteado”, adquiridas en un agroservicio local. Las semillas de maíz y fréjol se germinaron en turba esfágnea A2 marca Novarbo, en condiciones de casa sombra, se utilizó dos almácigos de plástico rígido color negro de 120 alveolos y una dimensión de 30 x 50 cm, las condiciones ambientales de la casa sombra tenían temperaturas entre 25-32 °C y una humedad relativa elevada del 70-90%. La luminosidad, aunque alta por la ubicación ecuatorial, se reduce con mallas de sombra en un 55-65%, mientras la precipitación varía estacionalmente el experimento se llevó a cabo en los meses de enero y febrero del 2024. Las plántulas con una hoja verdadera fueron trasplantadas a macetas de plástico, color terracota, N° 15 con una dimensión de 15 x 14 cm, y un volumen de 1,35 litros. Luego se agregó el sustrato esterilizado que contenía tuba y arena de río en una proporción 1:1.

Al momento del trasplante, se aplicó una doble inoculación la primera con 25 ml del inoculante micorrízico en el orificio de la maceta antes de la siembra y la segunda con la inhibición de la plántula en 250 ml por cada inoculante y luego se procedió a la siembra en la maceta, con el fin de garantizar una mayor conexión a la raíz desnuda. Para el tratamiento T2, el inoculante se mezcló con una solución preparada de gentamicina (280 mg) y estreptomina (1 g) con el fin de reducir la carga microbiana, es decir, la inoculación de este tratamiento tuvo como objetivo reducir la presencia de microorganismos contaminantes que podrían competir con el establecimiento de las HMA o afectar negativamente el crecimiento de las plantas. Este tratamiento buscó asegurar una colonización más eficiente y pura por parte de las micorrizas deseadas. Para mantener la nutrición de las plantas, se aplicaron 70 ml de fertilizante completo Fertisol® inicio (10 N; 40 P; 10 K) de la empresa Walco S. A., con aplicaciones semanales a las 10h00 am, en una

dosis de 1 gramo por litro de agua, las aplicaciones se realizaron después del riego rutinario. Luego del establecimiento de las plántulas. Las evaluaciones de crecimiento, como altura y número de hojas estas se evaluaron cada semana, así como la medición de clorofila con el equipo TYS-4N, nitrógeno (mg g^{-1}) y el porcentaje de colonización micorrízica evaluada al final de la experimentación, la cual tuvo una duración de cuatro semanas (Rodríguez-Larramendi et al., 2022; Chávez-Hernández et al., 2021).

2.5. Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó mediante un análisis de varianza con una prueba de Tukey ($p < 0,05$) (Balzarini et al., 2015; Correa-Álvarez et al., 2019) en Infostat - Statistical software (2017).

3. Resultados y Discusión

Como resultado del censo circular en el punto de muestreo se identificaron 23 especies vegetales, perteneciente ocho familias botánicas como se muestran en la Tabla 1. Las especies más abundantes en el área estudiada para la familia Fabaceae y Poaceae fueron las especies *Rhynchosia minima* L. con 80 individuos y *Cenchrus echinatus* L. con 149 individuos en promedio en las parcelas circulares. La planta de *R. minima* fue seleccionada por establecer relaciones simbióticas con rizobios a través de los pelos radiculares en los tejidos meristemáticos, vascular y parenquimatoso para la generación de nódulos que aportan a la fijación de nitrógeno (Bianco, 2020), aunque la especie seleccionada también es hospedadora del virus conocido como mosaico amarillo dorado (EU021216), este vi-

Tabla 1. Especies vegetales identificadas en un remanente de bosque seco tropical.

Table 1. Plant species identified in a tropical dry forest remnant.

Familia botánica	Nombre científico	Individuos
Acanthaceae	<i>Ruellia blechum</i> L.	145
	<i>Ruellia floribunda</i> Hook.	84
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.	65
	<i>Tridax procumbens</i> L.	118
	<i>Lagascea mollis</i> Cav.	23
Convolvulaceae	<i>Ipomoea coccinea</i> L.	35
Fabaceae	<i>Desmanthus virgatus</i> (L.) Willd.	42
	<i>Rhynchosia minima</i> L.*	80
	<i>Mimosa pigra</i> L.	29
	<i>Mimosa albida</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	47
	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	7
	<i>Senna occidentalis</i> (L.) Irwin	8
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	148
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	34
Poaceae	<i>Dichanthium annulatum</i> (Forssk.) Stapf.	9
	<i>Bouteloua gracilis</i> H.B.K (Lag.).	14
	<i>Panicum maximum</i> Jacq.	124
	<i>Urochloa decumbens</i> (Stapf.) R.D. Webster	98
	<i>Brachiaria brizantha</i> (A.Rich.) Stapf	87
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	101
	* <i>Cenchrus echinatus</i> L.	149
Scrophulariaceae	<i>Stemodia durantifolia</i> (L.) Sw.	26
Verbenaceae	<i>Phyla nodiflora</i> (L.) Greene	78

* Especies ruderales seleccionadas para la exploración de micorrizas arbusculares.

* Selected ruderal species for the study of arbuscular mycorrhizae.

rus RhYMV tiene la capacidad de infectar otras plantas cultivadas de la familia Fabaceae (Akram et al., 2025). También puede servir como una especie trampa para la bioprospección de micorrizas arbusculares. La segunda especie seleccionada fue *C. echinatus* debido a su potencial en la micorremediación de metales pesados (Andrade et al., 2015).

Como resultado del índice de Margalef con un valor de 2,83 nos indica que existe una riqueza de especies relativamente moderada para el tamaño de la muestra, dado que un valor más alto sugeriría una mayor cantidad de especies en relación con el número total de individuos. Para el índice de Shannon se obtuvo un valor de $H = 2,67$, este valor indica una diversidad moderadamente alta. Esto demuestra que la comunidad vegetal analizada presenta una riqueza de especies moderada, pero la diversidad general es relativamente alta debido a una distribución bastante equitativa en la abundancia de las diferentes especies. Esto sugiere una comunidad ruderal con una buena mezcla de especies, sin una dominancia abrumadora de unas pocas. Al revisar un estudio similar que reporta una diversidad de las especies herbáceas que crecen bajo el dosel forestal y esta se ve afectada tanto por las características del suelo como por la disposición espacial de los árboles (Sheng et al., 2024). Por lo que es recomendable desarrollar más estudios espacio temporales de la biodiversidad en esta zona para indagar en las dinámicas estacionales.

Los resultados del presente estudio evidenciaron una colonización micorrízica superior al 50% en ambas especies vegetales inoculadas con una densidad de 100 esporas por gramo de suelo (Tabla 2). Estos hallazgos concuerdan con estudios recientes en otras especies de la familia Fabaceae, como *Dipteryx alata*, que reportaron una colonización del 72,87% (Souza et al., 2023). Por otro lado, investigaciones en *Leymus chinensis*, perteneciente a la familia Poaceae y sometida a condiciones de sequía y salinidad, mostraron un porcentaje de micorrización del 46,67% en sus raíces (Wang et al., 2022). La cantidad de esporas necesaria para una colonización efectiva puede variar considerablemente, influenciada por complejas interacciones bióticas, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la compatibilidad específica entre las plantas hospeda-

doras y los hongos micorrízicos (Tenzin et al., 2022).

En la Figura 1 se observa as estructuras de la colonización micorrízica quienes son fuente de inóculo nativo, a pesar de una estabilidad en el número de especies de HMA a lo largo del tiempo, la composición específica esta influenciada por cambios temporales en factores abióticos como temperatura, pH, materia orgánica y, la disponibilidad de nitrógeno (Peralta-Valencia et al., 2023).

Como resultado del análisis morfológico de las esporas se obtuvo cuatro géneros representativos de ambos inóculos (*R. minima* y *C. echinatus*) siendo estos *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora* y *Scutellospora* (Figura 2). Las *Acaulosporas* tienen una forma irregular y son de color marrón oscuro, aunque hay partes más claras. Al observarla con un microscopio, se ven esporas negras, sacos donde se forman las esporas, hifas con formas extrañas y restos de células (da Silva et al., 2022). Las esporas del género *Glomus* tiene una forma casi redonda o con lóbulos irregulares, es blando y tiene una capa externa blanca (Guillén et al., 2020). Por dentro, la parte donde están las esporas es de color marrón oscuro y tiene forma de huevo. Las esporas del género *Gigaspora* presentan una morfología simple en el suelo, caracterizadas por un tamaño grande, una coloración amarillenta, una superficie lisa y una pared celular de tamaño distintivo (Bonfante, 2022). Por último, las esporas del género *Scutellospora* se distinguen por su gruesa pared laminada, células subsidiarias prominentes y un aparato apical complejo, formando estructuras únicas en el suelo (de Souza et al., 2005).

Estudios recientes, realizados a lo largo de tres años y en diferentes estaciones, han detectado la presencia constante de especies de hongos micorrízicos arbusculares como *Acaulospora* y *Funnelformis*. Estos hallazgos sugieren una estrecha relación entre la composición de estas comunidades fúngicas y variables ambientales clave como la temperatura y la cantidad de materia orgánica en el suelo. La notable capacidad de estas especies para adaptarse a diversas condiciones ambientales las posiciona como candidatas prometedoras para la restauración de ecosistemas degradados (Peralta-Valencia et al., 2023). Además, se ha demostrado que otras especies de hongos mico-

Tabla 2. Colonización micorrízica y número de esporas de especies seleccionadas de la familia Fabaceae y Poaceae.
Table 2. Mycorrhizal colonization and spore count for selected species of the Fabaceae and Poaceae families.

Plantas trampa	% MIC*	E 100 g ⁻¹ de suelo
<i>Rhynchosia minima</i>	57,51 ± 2,10	101 ± 1,11
<i>Cenchrus echinatus</i>	53,62 ± 2,12	132 ± 0,97

* % MIC= porcentaje de micorrización, E = esporas, ± = desviación estándar.
* % MIC = mycorrhization rate; E = spores; ± = standard deviation.

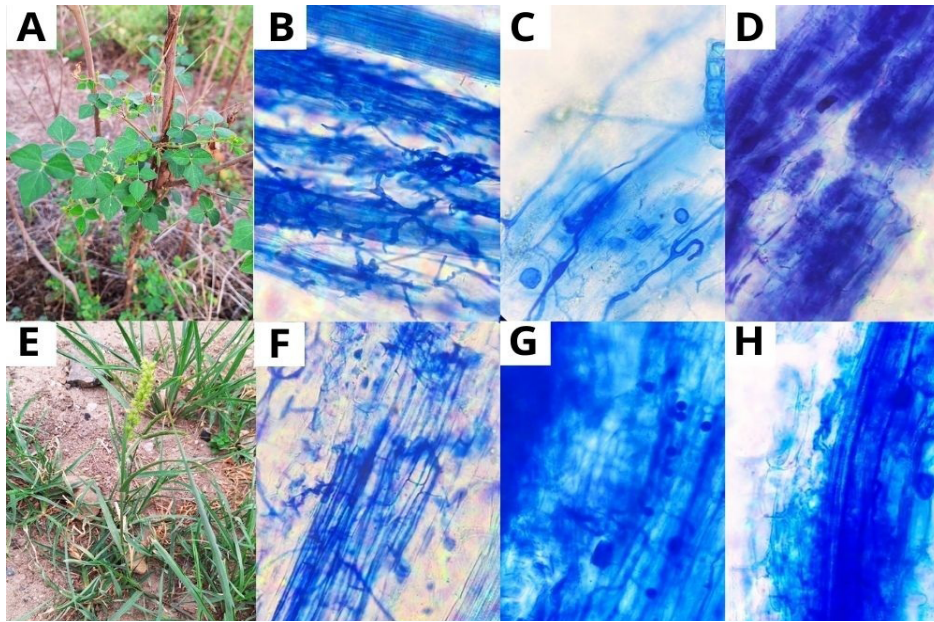


Figura 1. Especies ruderales seleccionadas para la bioprospección de micorrizas arbusculares; A. Planta de *Rhynchosia minima*; B. Hifas; C. Vesículas e hifas; D. Arbúsculos; E. Planta de *Cenchrus echinatus*; F. Hifas; G-H. Vesículas e hifas. Fotografías tomadas al microscopio a un campo de 40X (B-D y F-H).

Figure 1. Selected ruderal species for bioprospecting of arbuscular mycorrhizae; A. *Rhynchosia minima* plant; B. *Hyphae*; C. *Vesicles and hyphae*; D. *Arbuscules*; E. *Cenchrus echinatus* plant; F. *Hyphae*; G-H. *Vesicles and hyphae*. Photographs taken under a microscope at 40X magnification (B-D y F-H)

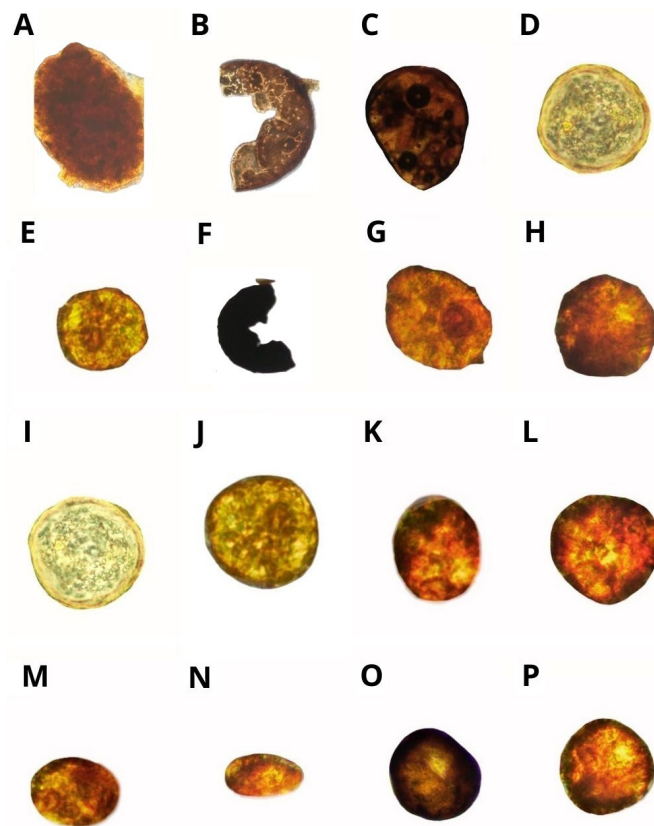


Figura 2. Géneros de esporas de micorrizas arbusculares proveniente de *Rhynchosia minima* (A-H) y *Cenchrus echinatus* (I-P); A. *Scutellospora*; B-C. *Acaulospora*; D-E. *Gigaspora*; F. *Glomus*; G-H-I-J-K-L. *Gigaspora*; M. *Scutellospora*; N-O. *Glomus*; P. *Gigaspora*. Fotografías tomadas al microscopio invertido de contraste de fases- Plan al infinito Kohler 40X-600X.

Figure 2. Arbuscular mycorrhizal spore genera from *Rhynchosia minima* (A-H) and *Cenchrus echinatus* (I-P); A. *Scutellospora*; B-C. *Acaulospora*; D-E. *Gigaspora*; F. *Glomus*; G-H-I-J-K-L. *Gigaspora*; M. *Scutellospora*; N-O. *Glomus*; P. *Gigaspora*. Photographs were taken with an inverted phase-contrast microscope (Köhler infinite field, 40x–600x).

rizicos arbusculares, como *Gigaspora albida* y *Gigaspora margarita*, contribuyen significativamente al crecimiento de las plantas (Souza et al., 2023).

En el experimento, las plantas de fréjol inoculadas con micorrizas arbusculares de *R. minima* mostraron una altura promedio superior (32,8 cm) al control sin micorrizas (32,6 cm), sugiriendo un posible efecto positivo de la inoculación. Al final del estudio, estas plantas presentaron un promedio de 5 hojas. En cuanto a la clorofila, los tratamientos 1 y 2 exhibieron 39 unidades SPAD, un poco menor que las 41 unidades SPAD del control. La cantidad de nitrógeno se mantuvo constante alrededor de 15 mg g⁻¹ en todos los tratamientos, y el porcentaje de micorrización alcanzó aproximadamente el 30% a la cuarta semana, indicando una simbiosis en desarrollo. Es importante señalar que el número de hojas no se detalla en la Tabla 3, dado que todas tuvieron el mismo número de hojas en el estado simbiótico de ambas especies, según la literatura, podría desarrollarse más allá de las cuatro semanas evaluadas, con mayores niveles de colonización esperados cerca de la floración.

Para el maíz, la inoculación con *C. echinatus* en el tratamiento 3 también se asoció con una altura ligeramente mayor (21,54 cm) en comparación con el control (20,83 cm). A la cuarta semana, las plantas de maíz desarrollaron un promedio de 3 hojas verdaderas. El tratamiento 2 destacó por la mayor concentración de clorofila, con 40 unidades SPAD. Al igual que en el fréjol, los niveles de nitrógeno se mantuvieron alrededor de 15 mg g⁻¹, y el porcentaje de micorrización fue cercano al 30% en la cuarta semana, lo que sugiere un proceso simbiótico en curso. Al igual que con el fréjol, la dinámica completa de la simbiosis en el maíz podría extenderse más allá del período de estudio, con una colonización efectiva en las etapas posteriores del crecimiento.

La inoculación con *Acaulospora scrobiculata* y *Rhizoglossum clarum* ha resultado en un mayor desarrollo de biomasa en cultivos de sorgo y maíz (Barros et al., 2024). Las especies del género *Glomus* ha sido predominante entre los HMA encontrados. La cantidad de estos hongos se ve afectada por factores edáficos como la materia orgánica y el nitrógeno total (Tenzin et al., 2022).

Si bien la simbiosis micorrízica arbuscular se describe a menudo como una asociación mutualista altamente específica, esta noción ha sido cuestionada por diversos estudios. Investigaciones realizadas en Cuba durante los últimos 20 años sugieren que las condiciones del suelo, más que una selección específica por parte del hospedero, juegan un papel determinante en la eficiencia de la simbiosis y no muestras deferencias significativas según las formaciones vegetales, lo que quiere decir que no varían los criterios de selección de cepas de inóculo nativo en sustrato sólido (Muji-ca-Pérez, 2020). Nuestros propios resultados respaldan esta perspectiva. El análisis morfológico de las esporas aisladas de la rizosfera de las dos especies de plantas evaluadas (*R. minima* y *C. echinatus*) reveló la presencia de estos cuatro géneros representativos de HMA: *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora*, y *Scutellospora* (Figura 2). Este hallazgo indica que, en las condiciones de nuestro estudio, no se observa una alta especificidad entre las especies de HMA y las familias de plantas, ya que las mismas comunidades fúngicas se asociaron con ambos hospederos. Es por ello la importancia de estudiar especies afines de la misma familia botánica. Dada la evolución convergente de la simbiosis micorrízica arbuscular futuros estudios enfocados en especies como *R. minima* podrían ser cruciales para desentrañar los mecanismos específicos mediante los cuales diferentes hospederos detectan y recompensan a los socios fúngicos más beneficiosos

Tabla 3. Resultados del ensayo de crecimiento con inóculos de esporas de micorrizas arbusculares nativas.
Table 3. Growth assay results using native arbuscular mycorrhizal spore inocula.

Fuente del inóculo de HMA	Tratamientos	Especies comerciales	Altura (cm)	Clorofila (SPAD)	Nitrógeno (mg/g)	%MIC
<i>Rhynchosia minima</i>	T1	Fréjol	32,63±1,6 ^a	41	16	31,33±0,47 ^a
	T2		32,89±0,45 ^a	39	15	32,45±0,37 ^b
	T3		32,9±1,2 ^a	39	15	32,21±0,36 ^b
<i>Cenchrus echinatus</i>	T1	Maíz	20,83±1,3 ^a	34	13	36,43±0,12 ^a
	T2		21,89±3,1 ^b	40	15	37,17±0,23 ^b
	T3		21,9±2,5 ^b	38	15	37,65±0,16 ^b

T1 = control sin micorrizas; T2 = micorrizas + antibióticos; T3 = solo con micorrizas. Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey (p<0,05); ± = desviación estándar; n = 6; % MIC = porcentaje de micorrización.

T1 = control without mycorrhizal inoculum; T2 = mycorrhizae + antibiotic; T3 = mycorrhizal inoculum only. Different letters in the same column indicate statistically significant differences according to Tukey test (p < 0.05). ± = standard deviation; n = 6; % MIC = mycorrhization rate.

(Shi et al., 2023). Es sustancial realizar más estudios al respecto de estas interacciones por individual y en conjunto para comprender las dinámicas complejas de las micorrizas arbusculares en remanentes de bosque seco tropical.

4. Conclusiones

Este estudio demuestra el potencial de los hongos micorrízicos arbusculares nativos de un remanente de bosque seco para mejorar el crecimiento de cultivos de importancia agrícola como el maíz y el fréjol. La inoculación con HMA aislados de *Rhynchosia minima* y *Cenchrus echinatus* incrementó la colonización

en ambos cultivos, lo que sugiere viabilidad del inóculo obtenido. Estos resultados respaldan la idea de que el aprovechamiento de la simbiosis micorrízica puede contribuir a prácticas agrícolas más sostenibles, reduciendo la dependencia de insumos químicos y promoviendo la salud del ecosistema. No obstante, es importante reconocer que la dinámica completa de la simbiosis, incluyendo el momento de máxima colonización y los efectos a largo plazo en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, esto requiere de estudios más extensos que abarquen un mayor período en los tiempos evaluación, en específico análisis en las diferentes etapas fenológicas de las plantas de importancia económica.

Agradecimientos

Los autores desean brindar un agradecimiento a la laboratorista Angiee Auz y a la directora del laboratorio, Alejandra De La Cruz, por su invaluable apoyo y dedicación al proyecto de investigación. Su compromiso y profesionalismo fueron fundamentales para el éxito de este estudio.

Financiamiento

El proyecto de investigación por su aporte financiero y logístico para la identificación de las especies vegetales del proyecto denominado Caracterización de la biodiversidad y etnobotánica de las especies vegetales ubicadas en el campus María Auxiliadora (HERBARIO) con resolución No. 0100-005-2023-09-26.

Contribuciones de los autores

- Jaime Naranjo-Morán: conceptualización, investigación, metodología, recursos.
- Nicolle Vargas-Huacón: investigación, software, redacción – borrador original.
- Allison Morales-Núñez: validación, visualización, redacción – revisión y edición.

Disponibilidad de datos

Los datos estarán disponibles previa solicitud.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaran que no se ha utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del manuscrito.

Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Akram, M., Kamaal, N., Kumar, D., Datta, D., y Agnihotri, A. K. (2025). Characterization, phylogeny and recombination of Rhynchosia yellow mosaic virus infecting *Rhynchosia minima*, a wild relative of pigeonpea (*Cajanus cajan*) from India. *Virus Genes*, 61(1), 110–120. <https://doi.org/10.1007/s11262-024-02120-4>
- Andrade, O. F., Nunes, M. S., Teixeira, J. S. M., Oliveira, M. M., Berbara, R. L. L., y Saraiva, V. B. (2015). Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) em uma formação vegetal de restinga: ecologia e potencial para micorrizo-remediação de hidrocarboneto do petróleo. *Revista Verities*, 17(3), 7–33. <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v17n315-01>
- Balzarini, M., di Rienzo, J., Tablada, M., Gonzalez, L., Bruno, C., Córdoba, M., Robledo, W., y Casanoves, F. (2015). *Estadística y biometría. Ilustraciones del uso de Infostat en problemas de agronomía* (2ª ed.). Editorial Brujas, Encuentro Grupo Editor, Liber Books. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/264161>
- Barros, S., Turchetto, R., Magalhães, J. B., Canepelle, E., Andreola, D. S., Ros, C. O., Basso, C. J., Silva, V. R., y Silva, R. F. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi on the development and copper content in corn and sorghum plants. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e283238. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.283238>
- Bianco, L. (2020). Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas. *Idesia* (Arica), 38(2), 21–29. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000200021>
- Bilgili, A. (2025). The effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungal species (*Funnelformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, and *Claroideoglomus etunicatum*) in the bio-control of root and crown rot pathogens, *Fusarium solani* and *Fusarium* mixture in pepper. *PeerJ*, 13, e18438. <https://doi.org/10.7717/peerj.18438>

- tps://doi.org/10.7717/peerj.18438
- Bonfante, P. (2022). Microbe Profile: *Gigaspora margarita*, a multifaceted arbuscular mycorrhizal fungus. *Microbiology* (Reading, England), 168(6), 001202. <https://doi.org/10.1099/mic.0.001202>
- Bonifaz, C. (2023). Composición florística de las riberas de la cuenca del río Taura, Golfo de Guayaquil, Ecuador. *Ecología aplicada*, 22(2), 123-128. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v22i2.2088>
- Chávez-Hernández, C. G., Barrera Aguilar, C. C., Téllez Espinosa, G. J., Chimal-Sánchez, E., y García-Sánchez, R. (2021). Colonización micorrízica y comunidades de hongos micorrizógenos arbusculares en plantas medicinales del bosque templado “Agua Escondida”, Taxco, Guerrero, México. *Scientia Fungorum*, 51, e1325. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1325>
- Correa-Álvarez, E. M., León-Pacheco, R. I., Lobato-Ureche, M. A., García-Davila, M. A., Muñoz-Perea, C. G., y Aramendiz-Tatis, H. (2019). Caracterización morfoagronómica de la colección de germoplasma de ají dulce (*Capsicum spp.*) del caribe colombiano. *Temas Agrarios*, 24(2), 81-95. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.1998>
- da Silva, K. J. G., Fernandes, J. A. L., Magurno, F., Leandro, L. B. A., Goto, B. T., y Theodoro, R. C. (2022). Phylogenetic review of Acaulospora (*Diversisporales*, *Glomeromycota*) and the homoplastic nature of its ornamentations. *Journal of Fungi*, 8(9), 892. <https://doi.org/10.3390/jof8090892>
- de Souza, F. A., Declerck, S., Smit, E., y Kowalchuk, G. A. (2005). Morphological, ontogenetic and molecular characterization of Scutellospora reticulata (*Glomeromycota*). *Mycological Research*, 109(6), 697-706. <https://doi.org/10.1017/S0953756205002546>
- Delgado-Bohórquez, A., Ávila-Beneras, C., y Vasco-Palacios, K. L. (2024). Bosques y desarrollo urbano sostenible en Guayaquil Metropolitano: un análisis multiescalar y comparativo. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 26(2), 29-51. <https://doi.org/10.14718/revarq.2024.26.4938>
- Eck, J. L., Stump, S. M., Delavaux, C. S., Mangan, S. A., y Comita, L. S. (2019). Evidence of within-species specialization by soil microbes and the implications for plant community diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(15), 7371-7376. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810767116>
- Fan, L., Zhang, C., Li, J., Zhao, Z., y Liu, Y. (2024). Metabolomics revealed the tolerance and growth dynamics of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) to soil salinity in licorice. *Plants*, 13(18), 2652. <https://doi.org/10.3390/plants13182652>
- Guillén, A., Serrano-Tamay, F. J., Peris, J. B., y Arrillaga, I. (2020). *Glomus ibericum*, *Septoglomus mediterraneum*, and *Funnelformis pilosus*, three new species of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycologia*, 112(4), 819-828. <https://doi.org/10.1080/00275514.2020.1771992>
- Hawkins, H.-J., Cargill, R. I. M., van Nuland, M. E., Hagen, S. C., Field, K. J., Sheldrake, M., Soudzilovskaia, N. A., y Kiers, E. T. (2023). Mycorrhizal mycelium as a global carbon pool. *Current Biology*, 33(11), R560-R573. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.02.027>
- Ho-Plágaro, T., Tamayo-Navarrete, M. I., y García-Garrido, J. M. (2020). Histochemical staining and quantification of arbuscular mycorrhizal fungal colonization. En N. Ferrol, y L. Lanfranco (eds.) *Arbuscular mycorrhizal fungi. Methods in molecular biology*, vol 2146 (pp. 43-52). Humana. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0603-2_4
- Infostat - Statistical software. (2017). Versión 2017. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=noticia&id=49>
- Jin, Z., Jiang, F., Wang, L., Declerck, S., Feng, G., y Zhang, L. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi and Streptomyces: brothers in arms to shape the structure and function of the hyphosphere microbiome in the early stage of interaction. *Microbiome*, 12(1), 83. <https://doi.org/10.1186/s40168-024-01811-2>
- Liu, J., Zhang, J., Li, D., Xu, C., y Xiang, X. (2020). Differential responses of arbuscular mycorrhizal fungal communities to mineral and organic fertilization. *MicrobiologyOpen*, 9(1), e00920. <https://doi.org/10.1002/mbo3.920>
- Ma, Y., Zhang, H., Wang, D., Guo, X., Yang, T., Xiang, X., Walder, F., y Chu, H. (2021). Differential responses of arbuscular mycorrhizal fungal communities to long-term fertilization in the wheat rhizosphere and root endosphere. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(17), e0034921. <https://doi.org/10.1128/AEM.00349-21>
- Martin, F. M., y van der Heijden, M. G. A. (2024). The mycorrhizal symbiosis: research frontiers in genomics, ecology, and agricultural application. *The New phytologist*, 242(4), 1486-1506. <https://doi.org/10.1111/nph.19541>
- Matteoli, F. P., Silva, A. M. M., de Araújo, V. L. V. P., Feiler, H. P., y Cardoso, E. J. B. N. (2024). Organic farming promotes the abundance of fungi keystone taxa in bacteria-fungi interkingdom networks. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 40(4), 119. <https://doi.org/10.1007/s11274-024-03926-y>
- Mujica-Pérez, Y. (2020). Nuevos desafíos en la producción de inoculantes a partir de hongos micorrízicos arbusculares en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 41(1), e09. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1543>
- Naranjo-Moran, J., Vera-Morales, M., Solorzano-Muñoz, J., y Pino-Acosta, A. (2024). Fotografía botánica: una herramienta para la educación artística en un remanente de bosque seco tropical, Guayaquil - Ecuador. *Revista Ciencias Pedagógicas e Innovación*, 12(1), 23-32. <https://doi.org/10.26423/rcpi.v12i1.753>
- Noguchi, M., y Toju, H. (2024). Mycorrhizal and endophytic fungi structure forest below-ground symbiosis through contrasting but interdependent assembly processes. *Environmental Microbiome*, 19(1), 84. <https://doi.org/10.1186/s40793-024-00628-8>
- Peralta-Valencia, A. L., Castillo-Argüero, S., Hernández-Cuevas, L. V., y Vázquez-Santos, Y. (2023). Variación temporal en la composición de hongos micorrizógenos arbusculares en un bosque templado. *Ecosistemas*, 32(3), 2572-2572. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2572>
- Pérez, U. A., Ramírez, M. M., Moreno, L. M., y Franco, M. (2011). Metodología para la desinfección y germinación de esporas y fragmentos de raíces micorrizadas con *Glomus sp.*(GEV02) para su uso bajo condiciones in vitro. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 143-150. https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:224
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Guevara-Hernández, F., la O-Arias, M. A., Romero-José, E., Hernández-García, V., y Salas-Marina, M. Á. (2022). Efecto del aluminio en el crecimiento y contenido de clorofila en plántulas de maíz. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 44(1), 25-31. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.1.25>
- Shao, Y., Jiang, S., Peng, H., Li, H., Li, P., Jiang, R., Fang, W., Chen, T., Jiang, G., Yang, T., Nambeesan, S. U., Xu, Y., y Dong, C. (2023). Indigenous and commercial isolates of arbuscular mycorrhizal fungi display differential effects in

- Pyrus betulaefolia* roots and elicit divergent transcriptomic and metabolomic responses. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1040134. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1040134>
- Sheng, Q., Dong, L., y Liu, Z. (2024). Driving forces of herbaceous species diversity in natural broadleaf forests from in Maoershan from Northeast China. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1449421. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1449421>
- Shi, J., Wang, X., y Wang, E. (2023). Mycorrhizal symbiosis in plant growth and stress adaptation: from genes to ecosystems. *Annual Review of Plant Biology*, 74, 569–607. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-061722-090342>
- Sieverding, E. (1983). *Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://hdl.handle.net/10568/54137>
- Sieverding, E., Friedrichsen, J., y Suden, W. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems (No. 224).
- Souza, G. G., Santos, S. C., Santos, C. C., Dias, A. S., Silverio, J. M., Trovato, V. W., y Flauzino, D. S. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi promote the growth of *Dipteryx alata* Vogel. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e275172. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.275172>
- Tedersoo, L., Bahram, M., y Zobel, M. (2020). How mycorrhizal associations drive plant population and community biology. *Science*, 367(6480), eaba1223. <https://doi.org/10.1126/science.aba1223>
- Tedersoo, L., y Bahram, M. (2019). Mycorrhizal types differ in ecophysiology and alter plant nutrition and soil processes. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 94(5), 1857–1880. <https://doi.org/10.1111/brv.12538>
- Tenzin, U. W., Noirungsee, N., Runsaeng, P., Noppradit, P., y Klinnawee, L. (2022). Dry-season soil and co-cultivated host plants enhanced propagation of arbuscular mycorrhizal fungal spores from sand dune vegetation in trap culture. *Journal of Fungi*, 8(10), 1061. <https://doi.org/10.3390/jof8101061>
- Wang, Y., Lin, J., Yang, F., Tao, S., Yan, X., Zhou, Z., y Zhang, Y. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth and performance in the seedlings of *Leymus chinensis* under alkali and drought stresses. *PeerJ*, 10, e12890. <https://doi.org/10.7717/peerj.12890>
- Zhang, W., Xue, W., Liu, J., Zhu, H., y Zhao, Z. (2024). Molecular diversity of ectomycorrhizal fungi in relation to the diversity of neighboring plant species. *Microorganisms*, 12(8), 1718. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12081718>
- Zhou, J., Chai, X., Zhang, L., George, T. S., Wang, F., y Feng, G. (2020). Different arbuscular mycorrhizal fungi cocolonizing on a single plant root system recruit distinct microbiomes. *mSystems*, 5(6), 10.1128/msystems.00929-20. <https://doi.org/10.1128/msystems.00929-20>