

Interacción entre micorrizas arbusculares y especies forestales en un bosque protector del trópico húmedo ecuatoriano

Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and forest species in a protected forest of the ecuadorian humid tropics

Interação entre micorrizas arbusculares e espécies florestais em uma floresta protegida do trópico úmido equatoriano

Vivanco-Ube, Jenniffer Liseth
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
jennifer.vivanco2016@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-8426-8854>



Molina-Zamora, Lady Diana
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
lady.molina2016@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-0146-2868>



Villanueva-Morán, Ivanna Anabella
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
ivanna.villanueva2016@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-9843-9444>



Avilés-Coque, Johnny Daniel
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
johnny.aviles2016@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-2958-6200>



Prieto-Benavides, Oscar Oswaldo
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
oprieto@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4101-0523>



 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/n1/888>

Como citar:

Vivanco-Ube, J. L., Molina-Zamora, L. D., Villanueva-Morán, I. A., Avilés-Coque, J. D., & Prieto-Benavides, O. O. (2025). Interacción entre micorrizas arbusculares y especies forestales en un bosque protector del trópico húmedo ecuatoriano. *Código Científico Revista De Investigación*, 6(1), 227–245. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/n1/888>

Recibido: 25/04/2025

Aceptado: 12/05/2025

Publicado: 30/06/2025

Resumen

La presente investigación se desarrolló en el bosque protector Pedro Franco Dávila, ubicado en el recinto Jauneche, cantón Palenque, provincia de Los Ríos, Ecuador. El objetivo fue analizar la interacción entre hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y especies forestales del trópico húmedo. Se evaluaron cinco especies arbóreas: *Castilla elastica*, *Triplaris cumingiana*, *Trema micrantha*, *Brosimum alicastrum* y *Sorocea trophoides*, mediante un diseño completamente al azar con tres repeticiones por especie. Se recolectaron muestras de suelo y raíces, y se aplicaron técnicas estándar para la extracción, tinción e identificación morfológica de esporas y estructuras fúngicas en raíces. Se identificaron esporas de nueve géneros de HMA, con un total de 363 individuos. Los índices de diversidad (Shannon, Margalef, Pielou y riqueza específica) mostraron mayores valores en *Triplaris cumingiana* y *Sorocea trophoides*. El mayor número de esporas se registró en *Castilla elastica*, mientras que *Sorocea trophoides* presentó el mayor porcentaje de colonización micorrízica (32,1%). Estos resultados evidencian una diversidad funcional significativa entre HMA y especies forestales, subrayando su importancia ecológica para la resiliencia de ecosistemas tropicales.

Palabras clave: microorganismos del suelo, colonización, diversidad fúngica, especies forestales, Ecuador.

Abstract

This study was conducted in the Pedro Franco Dávila protected forest, located in the Jauneche area, Palenque canton, Los Ríos province, Ecuador. The objective was to analyze the interaction between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and forest species in the humid tropics. Five tree species were evaluated: *Castilla elastica*, *Triplaris cumingiana*, *Trema micrantha*, *Brosimum alicastrum*, and *Sorocea trophoides*, using a completely randomized design with three replicates per species. Soil and root samples were collected, and standard techniques were applied for the extraction, staining, and morphological identification of spores and fungal structures in roots. Spores from nine AMF genera were identified, totaling 363 individuals. Diversity indices (Shannon, Margalef, Pielou, and species richness) showed higher values in *Triplaris cumingiana* and *Sorocea trophoides*. The highest spore count was recorded in *Castilla elastica*, while *Sorocea trophoides* showed the highest mycorrhizal colonization percentage (32.1%). These findings reveal significant functional diversity between AMF and forest species, highlighting their ecological relevance for tropical ecosystem resilience.

Keywords: soil microorganisms, colonization, fungal diversity, forest species, Ecuador..

Resumo

Este estudo foi realizado na floresta protegida Pedro Franco Dávila, localizada na região de Jauneche, cantão Palenque, província de Los Ríos, Equador. O objetivo foi analisar a interação entre fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e espécies florestais do trópico úmido. Foram avaliadas cinco espécies arbóreas: *Castilla elastica*, *Triplaris cumingiana*, *Trema micrantha*, *Brosimum alicastrum* e *Sorocea trophoides*, com delineamento inteiramente casualizado e três repetições por espécie. Amostras de solo e raízes foram coletadas e submetidas a técnicas padronizadas para extração, coloração e identificação morfológica de esporos e estruturas fúngicas em raízes. Identificaram-se esporos de nove gêneros de FMA, totalizando 363 indivíduos. Os índices de diversidade (Shannon, Margalef, Pielou e riqueza específica) apresentaram maiores valores para *Triplaris cumingiana* e *Sorocea trophoides*. A maior quantidade de esporos foi registrada em *Castilla elastica*, enquanto *Sorocea trophoides* apresentou o maior percentual de colonização micorrízica (32,1%). Os resultados revelam diversidade funcional significativa entre FMA e espécies florestais, evidenciando sua importância ecológica para a resiliência dos ecossistemas tropicais.

Palavras-chave: microrganismos do solo, colonização, diversidade fúngica, espécies florestais, equador.

Introducción

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) establecen asociaciones simbióticas con aproximadamente el 80% de las especies vegetales terrestres, desempeñando un papel crucial en la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y la estructuración del suelo (Khaliq et al., 2022). En los ecosistemas tropicales, caracterizados por su alta biodiversidad y suelos con limitaciones nutricionales, los HMA son fundamentales para el mantenimiento de la productividad y la resiliencia ecológica (Zhang et al., 2023).

Ecuador, reconocido como uno de los países megadiversos del mundo, alberga una vasta variedad de ecosistemas, entre ellos los bosques húmedos tropicales de la región litoral. El bosque protector Pedro Franco Dávila, ubicado en el recinto Jauneche del cantón Palenque, provincia de Los Ríos, representa un remanente significativo de estos ecosistemas, enfrentando presiones antropogénicas como la expansión agrícola y la deforestación (Mestanza et al., 2023). A pesar de su importancia ecológica, existe una limitada comprensión sobre la diversidad y funcionalidad de los HMA en este tipo de bosques secundarios, lo que restringe el desarrollo de estrategias efectivas para su conservación y restauración (Duchicela et al., 2022; Prieto-Benavides et al., 2025).

Estudios recientes en la Amazonía ecuatoriana han evidenciado que la composición de las comunidades de HMA varía significativamente en función de factores edáficos y ambientales, como la disponibilidad de nutrientes y las condiciones de humedad (Arévalo-Granda et al., 2023). Sin embargo, investigaciones similares en los bosques húmedos de la región litoral son escasas, dejando un vacío en el conocimiento sobre las interacciones entre HMA y especies forestales nativas en estos ambientes.

La presente investigación tiene como objetivo analizar la interacción entre hongos micorrízicos arbusculares y cinco especies forestales representativas del bosque protector Pedro Franco Dávila: *Castilla elastica*, *Triplaris cumingiana*, *Trema micrantha*, *Brosimum alicastrum* y *Sorocea trophoides*. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa sobre la diversidad funcional de los HMA en este ecosistema y su potencial aplicación en programas de restauración ecológica y manejo sostenible de bosques tropicales.

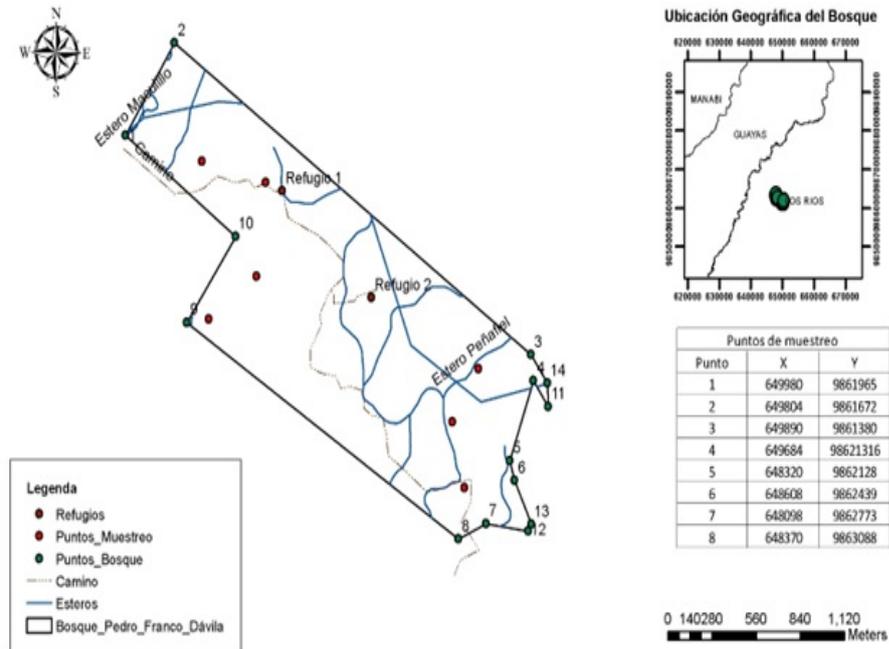
Metodología

Descripción del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el bosque protector Pedro Franco Dávila, ubicado en el recinto Jauneche, cantón Palenque, provincia de Los Ríos, Ecuador. Esta área forma parte del ecosistema de bosque húmedo tropical de la región litoral ecuatoriana y se encuentra bajo la administración de la Universidad de Guayaquil. La reserva abarca una superficie aproximada de 136,49 hectáreas, caracterizada por una alta biodiversidad florística y faunística, así como por condiciones edafoclimáticas particulares que favorecen la interacción simbiótica entre plantas y hongos del suelo.

El clima predominante en la zona es tropical húmedo, con una temperatura media anual cercana a los 25 °C y una precipitación acumulada que oscila entre los 2.000 y 3.000 mm anuales, distribuidos principalmente entre los meses de diciembre y mayo (Ilbay-Yupa et al., 2023). El régimen pluviométrico y la humedad relativa elevada favorecen la actividad microbiana del suelo, especialmente la de los hongos micorrízicos arbusculares. Los suelos de la región presentan una textura variable con predominancia franco-arcillosa, un pH moderadamente ácido a neutro, y niveles variables de fósforo disponible (Figura 1).

Figura 1.
Ubicación geográfica del área del Bosque Pedro Franco Dávila.



Nota: (Autores, 2025).

Recolección y análisis de muestras

La recolección de muestras se realizó en campo entre los meses de julio y agosto del 2024, siguiendo un diseño completamente al azar. Para cada una de las cinco especies forestales seleccionadas (*Castilla elastica*, *Triplaris cumingiana*, *Trema micrantha*, *Brosimum alicastrum* y *Sorocea trophoides*), se establecieron tres repeticiones, obteniendo un total de quince unidades de muestreo. En cada punto, se recolectaron de forma simultánea muestras de suelo y raíces.

Las muestras de raíces se extrajeron a una profundidad de 0 a 20 cm, bajo la proyección de la copa de los árboles, zona donde se concentra mayor actividad micorrízica. Cada muestra consistió en aproximadamente 2 kg de suelo con 80 a 100 g de raíces finas adheridas. Las raíces se separaron, lavaron con abundante agua corriente y se conservaron en etanol al 50% hasta su procesamiento en laboratorio.

Las muestras de suelo, también obtenidas a 0 - 20 cm de profundidad, se recolectaron en fundas plásticas previamente identificadas y fueron transportadas al laboratorio de Microbiología Ambiental de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Se utilizó el método de tamizado en húmedo y decantación, según Gerdermann y Nicolson (1963), con modificaciones, para el aislamiento de esporas de hongos micorrízicos arbusculares. Posteriormente, se aplicó gradiente de sacarosa y centrifugación para purificar las esporas, las cuales fueron cuantificadas y clasificadas mediante claves morfológicas y el uso de la base INVAM.

En cuanto a las raíces, se aplicó el método de tinción de Phillips y Hayman (1970) y la técnica de observación microscópica propuesta por Giovanetti y Mosse (1980), para determinar la tasa de colonización micorrízica. Se prepararon segmentos de raíz teñidos con azul de tripano y se realizaron observaciones a 40x en microscopio óptico, contabilizando estructuras como hifas, arbusculos y vesículas.

Técnica de tinción de raíces y colonización micorrízica

Para la evaluación de la colonización micorrízica en raíces finas, se aplicó la metodología clásica de tinción descrita por Phillips y Hayman (1970), con ligeras adaptaciones. Las raíces previamente lavadas fueron segmentadas en fragmentos de aproximadamente 1 cm de longitud y sometidas a un proceso de aclarado con una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10%, colocándolas en baño de María a 90 °C durante 15 minutos. Posteriormente, se eliminaron los pigmentos oscuros residuales mediante tratamiento con peróxido de hidrógeno (H₂O₂ al 3%) durante 20 minutos, seguido de un enjuague exhaustivo con agua destilada.

Luego de este pretratamiento, las raíces fueron acidificadas en ácido clorhídrico (HCl 1N) por 10 minutos, para mejorar la fijación del colorante. La tinción se realizó con azul de tripano al 0,05% disuelto en lactoglicerol, sometiendo las muestras nuevamente al baño de

María por 15 minutos. Finalmente, las raíces se conservaron en glicerol al 50% hasta su observación microscópica.

Para la cuantificación de la colonización micorrízica, se montaron 50 segmentos de raíz por muestra en portaobjetos con gotas de glicerol. Se aplicó la técnica de intersección en retícula propuesta por Giovanetti y Mosse (1980), utilizando un microscopio óptico a 40 aumentos. En cada intersección, se registró la presencia de estructuras micorrízicas (hifas, vesículas y arbusculos), permitiendo calcular el porcentaje de colonización a partir de la proporción de segmentos infectados respecto al total evaluado.

Aislamiento e identificación de esporas del suelo

El aislamiento de esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) a partir de las muestras de suelo se realizó mediante la técnica de tamizado y decantación en húmedo propuesta por Gerdermann y Nicolson (1963), con adaptaciones específicas para suelos tropicales. Para ello, se pesaron 100 gramos de suelo seco y tamizado por muestra, los cuales fueron suspendidos en 1.000 mL de agua destilada en un vaso de precipitación, agitando vigorosamente la mezcla durante 3 a 5 minutos para disgregar los agregados edáficos.

La suspensión fue decantada a través de una serie de tamices de diferente apertura (425 μm , 90 μm y 25 μm), reteniéndose las fracciones que presumiblemente contenían esporas en el rango morfológico de interés. Posteriormente, el material retenido fue sometido a una purificación por gradiente de sacarosa en tubos de centrifugación de 15 mL, utilizando soluciones al 20% y 60% para generar la separación diferencial de esporas según su densidad. La centrifugación se efectuó a 3.000 rpm durante 3 minutos.

Tras este procedimiento, el sobrenadante fue lavado con agua destilada sobre un tamiz de 75 μm para eliminar restos de sacarosa. Las esporas recolectadas fueron transferidas cuidadosamente a cajas de Petri cuadrículadas para su cuantificación bajo lupa estereoscópica.

Para la identificación morfológica, las esporas se montaron en portaobjetos con alcohol lactoglicerol y reactivo de Melzer, observándose bajo microscopio óptico a 400x.

La identificación taxonómica se realizó con el apoyo de claves morfológicas especializadas y la base de datos del International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM, 2025), considerando criterios como el color, tamaño, ornamentación de la pared, y estructura hifal de conexión. Este análisis permitió la clasificación de esporas por género y morfoespecie, y contribuyó a evaluar la diversidad fúngica presente en los suelos del bosque protector.

Tratamiento de Datos y Análisis estadísticos

Los datos obtenidos a partir de la cuantificación de esporas, identificación morfoespecífica y evaluación de colonización micorrízica en raíces fueron organizados en matrices por especie forestal y por variable evaluada. Se calcularon los principales índices ecológicos de diversidad fúngica: riqueza específica (S), índice de Shannon-Wiener (H'), índice de Margalef (M), y equitabilidad de Pielou (J), para caracterizar la estructura comunitaria de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados a cada especie arbórea.

La riqueza específica se determinó como el número total de morfoespecies presentes por muestra. El índice de Shannon permitió estimar la diversidad considerando la abundancia relativa de cada morfoespecie, mientras que el índice de Margalef evaluó la diversidad ponderando el número de individuos frente al total de especies. La equitabilidad de Pielou expresó el grado de uniformidad en la distribución de las esporas entre las diferentes morfoespecies registradas.

Para comparar el porcentaje de colonización micorrízica entre las especies forestales evaluadas, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, previa transformación de los datos mediante la función \sqrt{x} para estabilizar la varianza de las proporciones. En los

casos donde se identificaron diferencias significativas ($p < 0,05$), se aplicó la prueba de Tukey para determinar las diferencias entre medias.

El procesamiento estadístico se realizó utilizando el programa Rstudio, los cuales permitieron graficar los resultados y validar la consistencia de las comparaciones. Esta metodología analítica facilitó la evaluación cuantitativa de la interacción simbiótica entre los HMA y las especies forestales del bosque protector Pedro Franco Dávila, en condiciones naturales del trópico húmedo ecuatoriano.

Resultados

Índices de diversidad de HMA asociados a especies forestales en el bosque protector Pedro Franco Dávila

Los índices ecológicos calculados permitieron caracterizar la diversidad fúngica asociada a las especies forestales evaluadas como se muestran en la tabla 1. En cuanto a la riqueza específica (S), las especies *Castilla elastica*, *Sorocea trophoides* y *Triplaris cumingiana* presentaron los valores más altos con 6,33, mientras que *Trema micrantha* registró la menor riqueza con 5,00. La riqueza promedio general entre todas las especies fue de 5,93.

Respecto al índice de diversidad de Shannon (H'), que integra tanto la riqueza como la equitabilidad de las especies fúngicas, los mayores valores fueron observados en *Triplaris cumingiana* (1,77) y *Sorocea trophoides* (1,76), indicando una comunidad micorrízica más equilibrada y diversificada. En contraste, *Trema micrantha* presentó un valor menor (1,48), reflejando una menor diversidad y dominancia de ciertas morfoespecies.

El índice de Margalef (M), que pondera la riqueza específica en función del número de individuos, mostró también un patrón similar: *Triplaris cumingiana* alcanzó el valor más alto (1,77), seguido de *Sorocea trophoides* (1,59) y *Brosimum alicastrum* (1,58), mientras que *Trema micrantha* obtuvo el valor más bajo (1,23).

En cuanto al índice de equitabilidad de Pielou (J), que evalúa la distribución homogénea de las especies, indicó una alta equitatividad en *Triplaris cumingiana* y *Brosimum alicastrum* (ambas con 0,97), lo que sugiere una distribución balanceada de las especies fúngicas en estas asociaciones simbióticas. En contraste, *Castilla elastica* presentó el menor valor de equitabilidad (0,86), lo que evidencia una mayor desigualdad en la distribución de sus morfoespecies micorrízicas.

Tabla 1
Riqueza y media de especies

Índices	Especies					Media
	<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Castilla elastica</i>	<i>Sorocea trophoides</i>	<i>Trema micrantha</i>	<i>Triplaris cumingiana</i>	
S	5,67 ± 3,51	6,33 ± 2,08	6,33 ± 1,15	5,00 ± 1,41	6,33 ± 1,15	5,93
H	1,49 ± 0,77	1,59 ± 0,52	1,76 ± 0,18	1,48 ± 0,36	1,77 ± 0,16	1,62
M	1,58 ± 1,09	1,48 ± 0,61	1,59 ± 0,36	1,23 ± 0,28	1,77 ± 0,25	1,53
J	0,97 ± 0,03	0,86 ± 0,13	0,96 ± 0,01	0,92 ± 0,06	0,97 ± 0,02	0,93

Nota: Riqueza media de especies (S), índice de Shannon (H), índice de Margalef (M) e índice de equitabilidad de Pielou (J) de las especies forestales *Brosimum alicastrum*, *Castilla elastica*, *Sorocea trophoides*, *Trema micrantha*, y *Triplaris cumingiana* presente en el bosque protector “Pedro Franco Dávila”, (Autores, 2025).

Identificación y distribución de familias y morfoespecies de HMA en el bosque protector

Pedro Franco Dávila

El análisis morfológico de las esporas presentes en las muestras de suelo permitió identificar un total de 25 morfoespecies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), distribuidas en cuatro familias taxonómicas: Acaulosporaceae, Claroideoglomeraceae, Gigasporaceae y Glomeraceae. Estas se encontraron asociadas a las cinco especies forestales evaluadas en el bosque protector Pedro Franco Dávila.

La familia Glomeraceae fue la más representada en términos de abundancia total, destacándose los géneros *Glomus*, *Funneliformis* y *Rhizophagus*. En particular, *Glomus* sp.1 fue la morfoespecie más común, con 48 esporas registradas en total, seguida por *G. multicaule* (27) y *Rhizophagus aggregatus* (27), esta última exclusiva de *Castilla elastica*.

La familia Acaulosporaceae presentó una notable diversidad, con al menos nueve morfoespecies, entre ellas *Acaulospora elegans*, *A. morrowiae*, *A. colombiana* y *Archaeospora*

trappei. Algunas especies, como *A. koskei* y *A. scrobiculata*, se encontraron únicamente en *Triplaris cumingiana*, lo cual sugiere cierto grado de especificidad simbiótica.

En cuanto a la familia Gigasporaceae, se identificaron esporas de los géneros *Cetraspora*, *Dentiscutata*, *Gigaspora* y *Scutellospora*. La especie *Dentiscutata reticulata* presentó un total de 16 esporas, distribuida entre *Brosimum alicastrum* y *Trema micrantha*.

Por su parte, la familia Claroideoglomeraceae estuvo representada por *Claroideoglo mus claroideum* y *C. etunicatum*, encontradas principalmente en *Trema micrantha* y *Triplaris cumingiana*.

En términos de abundancia total, *Castilla elastica* presentó el mayor número de individuos con 114 esporas, seguida por *Brosimum alicastrum* (86). Las menores abundancias se registraron en *Sorocea trophoides* y *Trema micrantha*, ambas con 51 esporas. En contraste, la mayor riqueza de morfoespecies (14) se observó en *Triplaris cumingiana*, lo que refleja una asociación simbiótica más diversa y posiblemente más estable (Tabla 2).

Tabla 2
Familia y especies de HMA

Abreviatura	Familia/especies hma	Muestras					Total
		<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Castilla elastica</i>	<i>Sorocea trophoides</i>	<i>Trema micrantha</i>	<i>Triplaris cumingiana</i>	
	Acaulsporaceae						
Acaul	<i>Acaulospora</i> sp1	10	0	2	0	0	12
	<i>Acaulospora colombiana</i> (spain & schenck)						
Acol	kaonongbua, morton and bever	3	3	0	0	0	6
Aeleg	<i>A. Elegans</i> gerd. & trappe	5	5	8	0	6	24
	<i>A. Kentinensis</i> (c.g wu & y.s. Liu) kaonongbua,						
Akent	j.b. Morton & bever	5	0	4	0	3	12
Akosk	<i>A. Koskei</i> blaszk	0	0	0	0	4	4
Amor							
r	<i>A. Morrowiae</i> spain & n.c. Schenck	9	7	0	0	0	16
Areh							
m	<i>A. Rehmii</i> sieverd. & s. Toro	0	0	2	0	0	2
	<i>Archaeospora trappei</i> (ames & linderman) j.b.						
Artra	Morton and d. Redecker	15	0	8	0	5	28
Ascro	<i>A. Scrobiculata</i> trappe	0	0	0	0	3	3
	Claroideoglomeraceae						0
	<i>Claroideoglo mus claroideum</i> (n.c.schenck & g.s.sm.) C.walker & a.schüßler, 2010	0	0	0	6	6	12
Cclar							
Clae	<i>Claroideoglo mus etunicatum</i> (w.n. Becker & gerd.) C. Walker & a. Schüßler	6	0	0	4	3	13
n							
	Gigasporaceae						0
	<i>Cetraspora pellucida</i> (t.h.nicolson & n.c.schenck) oehl, f.a.souza & sieverd., 2009	0	8	0	0	0	8
Cpell							

Dbio	<i>Dentiscutata biornata</i> (españa, sieverd. & s. Toro) sieverd., fa souza & oehl	0	0	3	3	0	6
Dhet	<i>Dentiscutata heterogama</i> (t.h. Nicolson. And gerd.) Sieverd., f.a. Souza and oehl	0	0	2	7	0	9
Dret	<i>Dentiscutata reticulata</i> (koske, d.d.mill. & c.walker) sieverd., f.a.souza & oehl, 2009	6	0	0	10	0	16
Giga1	<i>Gigaspora</i> sp1	0	16	0	0	0	16
Gmar							
g	<i>G.margarita</i> becker and hall	2	3	4	0	10	19
Scut1	<i>Scutellospora</i>	0	0	0	0	2	2
	Glomeraceae						0
	<i>Funneliformis mosseae</i> (t.h. Nicolson. And gerd.) C. Walker & a. Schüßler	0	5	3	0	0	8
Fmoss							
Glo1	<i>Glomus</i> sp1	9	14	5	12	8	48
Glo2	<i>Glomus</i> sp2	5	7	0	0	1	13
Glo3	<i>Glomus</i> sp3	3	2	0	9	4	18
Gmult	<i>Glomus multicaulis</i> gerd. & b.k. Balshi	8	13	3	0	3	27
	<i>Rhizophagus clarus</i> (t.h. Nicolson. & n.c. Schenck) c. Walker & a. Schüßler	0	4	7	0	3	14
Rclar							
	<i>Rhizophagus aggregatus</i> (n.c.schenck & g.s.sm.) C.walker, 2016	0	27	0	0	0	27
Raggr							
							36
Total		86	114	51	51	61	3

Nota: Familia y especies de HMA y número de esporas encontradas en la estación lluviosa en monodominancia de las especies forestales *Brosimum alicastrum*, *Castilla elastica*, *Sorocea trophoides*, *Trema micrantha*, y *Triplaris cumingiana* presentes en el bosque protector “Pedro Franco Dávila”, (Autores, 2025).

Porcentaje de colonización micorrízica

El análisis cuantitativo del porcentaje de colonización micorrízica evidenció variabilidad significativa entre las especies forestales evaluadas en el bosque protector Pedro Franco Dávila (Tabla 3). La especie con mayor nivel de colonización fue *Sorocea trophoides*, con un 32,1%, lo cual indica una fuerte dependencia micorrízica y un alto grado de simbiosis funcional en las condiciones ecológicas del sitio. Le siguió *Trema micrantha*, con un porcentaje de 26,5%, y *Brosimum alicastrum*, con 23,0%, ambas especies con niveles de colonización considerados moderados a altos, que sugieren una interacción efectiva con los hongos simbioses presentes en el suelo.

En contraste, *Triplaris cumingiana* mostró un porcentaje de 13,8%, y *Castilla elastica* registró el valor más bajo, con apenas 4,6% de colonización micorrízica, lo que podría estar relacionado con una menor afinidad simbiótica, una baja disponibilidad de propágulos fúngicos en la rizosfera, o características radiculares que limitan la penetración fúngica.

La transformación de los datos mediante $\arcsen\sqrt{x}$ permitió normalizar las proporciones para la aplicación del análisis estadístico, siendo los valores resultantes: *Sorocea trophoides* (0,027), *Trema micrantha* (0,026), *Brosimum alicastrum* (0,026), *Triplaris cumingiana* (0,024) y *Castilla elastica* (0,021). El análisis de varianza seguido de la prueba de Tukey ($p < 0,05$) confirmó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Tabla 3
Colonización micorrízica

Especies	Colonización	
	%	Arcsen \sqrt{x}
<i>Brosimum alicastrum</i>	23,0b	0,026
<i>Castilla elastica</i>	4,6d	0,021
<i>Sorocea trophoides</i>	32,1a	0,027
<i>Trema micrantha</i>	26,5b	0,026
<i>Triplaris cumingiana</i>	13,8c	0,024

Nota: Colonización micorrízica en raíces de las especies forestales *Brosimum alicastrum*, *Castilla elastica*, *Sorocea trophoides*, *Trema micrantha*, y *Triplaris cumingiana* presentes en el bosque protector “Pedro Franco Dávila”, (Autores, 2025).

Significancia obtenida con el nivel de probabilidad del 5% según la prueba de Tukey.

Letras distintas revelan diferencias estadísticas entre especies forestales.

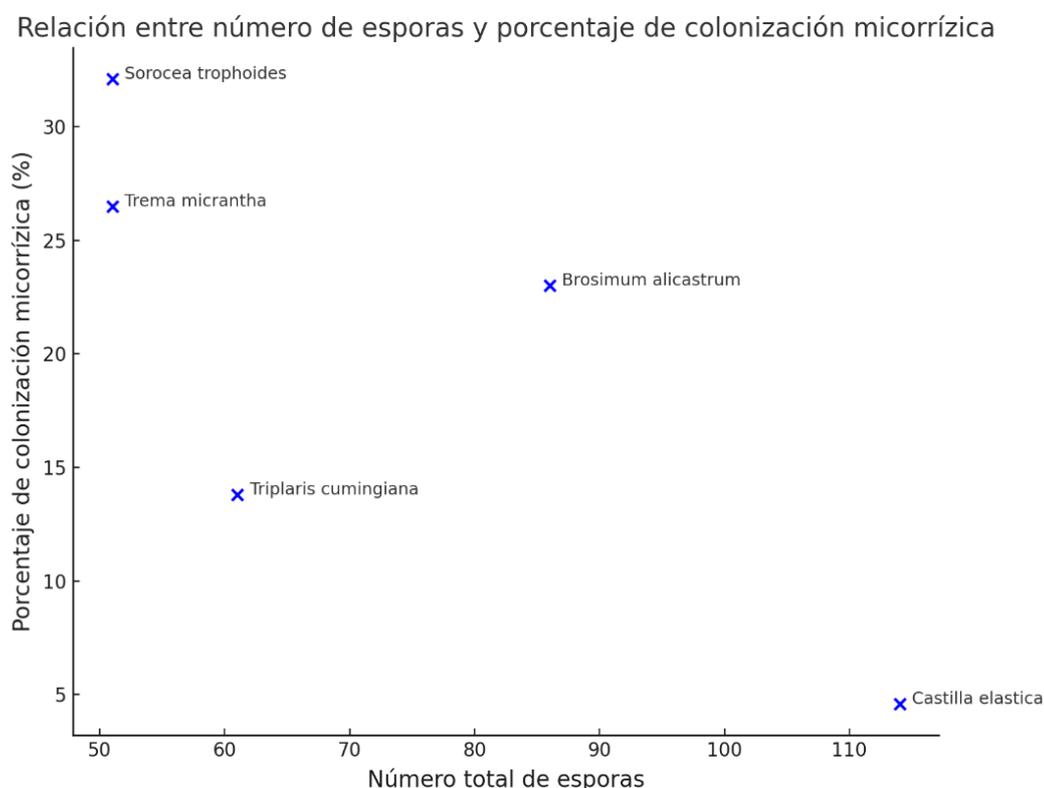
Relación entre el número de esporas y el porcentaje de colonización micorrízica

La relación entre el número total de esporas de hongos micorrízicos arbusculares y el porcentaje de colonización en raíces evidencia un patrón no lineal entre ambas variables. A pesar de que *Castilla elastica* presentó el mayor número de esporas (114), registró el porcentaje más bajo de colonización (4,6%), lo cual sugiere que una alta abundancia de esporas en el suelo no garantiza necesariamente una colonización efectiva.

En contraste, *Sorocea trophoides*, con apenas 51 esporas registradas, mostró el valor más alto de colonización (32,1%), evidenciando una posible mayor eficiencia simbiótica o afinidad con los HMA presentes en el entorno. *Trema micrantha* y *Brosimum alicastrum* presentaron niveles intermedios tanto en número de esporas como en colonización, mientras que *Triplaris cumingiana* reflejó una colonización relativamente baja pese a contar con un número moderado de esporas (Figura 2).

Figura 2

Relación entre el número total de esporas de hongos micorrízicos arbusculares y el porcentaje de colonización micorrízica en raíces de cinco especies forestales del bosque protector Pedro Franco Dávila.



Nota: (Autores, 2025).

Discusión

(La identificación de 25 morfoespecies de HMA, distribuidas en las familias Glomeraceae, Acaulosporaceae, Gigasporaceae y Claroideoglomeraceae, evidencia una alta diversidad micorrízica en el bosque protector Pedro Franco Dávila. Este hallazgo es consistente con estudios realizados en bosques tropicales de Ecuador, donde se ha reportado una notable diversidad de HMA en la rizosfera de especies nativas (Prieto-Benavides et al., 2025). La predominancia de la familia Glomeraceae, especialmente del género *Glomus*, es común en ecosistemas tropicales debido a su adaptabilidad y eficiencia simbiótica (Oehl et al., 2021).

La diversidad de HMA observada puede estar influenciada por factores edáficos y climáticos locales. Estudios han demostrado que variables como el pH del suelo, la

disponibilidad de nutrientes y la textura del suelo afectan significativamente la composición y diversidad de comunidades de HMA (Dueñas et al., 2020). Además, la heterogeneidad ambiental en bosques tropicales contribuye a la coexistencia de múltiples especies de HMA, promoviendo una alta diversidad fúngica (Arévalo et al., 2023).

La presencia de una comunidad diversa de HMA es crucial para la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas forestales. Los HMA desempeñan roles fundamentales en la mejora de la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés y la resistencia a patógenos en las plantas hospedadoras (Gautam y Chaurasia, 2025). Por lo tanto, la diversidad micorrízica observada en el bosque protector Pedro Franco Dávila sugiere un ecosistema saludable y funcional, capaz de soportar perturbaciones ambientales y antropogénicas.

El análisis del porcentaje de colonización micorrízica reveló variaciones significativas entre las especies forestales estudiadas. *Sorocea trophoides* presentó el mayor nivel de colonización (32,1%), seguido por *Trema micrantha* (26,5%) y *Brosimum alicastrum* (23,0%). En contraste, *Triplaris cumingiana* y *Castilla elastica* mostraron porcentajes de colonización más bajos, con 13,8% y 4,6% respectivamente.

Estas diferencias pueden atribuirse a la variabilidad en la compatibilidad entre las especies vegetales y los HMA presentes en el suelo (Guo et al., 2022). Investigaciones han demostrado que ciertas especies vegetales tienen una mayor afinidad por formar asociaciones micorrízicas, lo que se traduce en niveles más altos de colonización (Guigard et al., 2023). Además, factores como la morfología radicular, la exudación de compuestos orgánicos y las condiciones edáficas locales influyen en la capacidad de colonización de los HMA (Herrera Monroy et al., 2023).

La alta colonización observada en *Sorocea trophoides* y *Trema micrantha* sugiere que estas especies podrían beneficiarse significativamente de las asociaciones micorrízicas, mejorando su absorción de nutrientes y resistencia a condiciones adversas. Por otro lado, la

baja colonización en *Castilla elastica* podría indicar una menor dependencia de los HMA o una menor disponibilidad de propágulos fúngicos compatibles en su entorno inmediato. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la especificidad planta-hongo en estudios de ecología micorrízica y en estrategias de restauración forestal (Singavarapu et al., 2024).

La abundancia de esporas de HMA en el suelo varió entre las especies forestales estudiadas. *Castilla elastica* presentó el mayor número de esporas (114), mientras que *Sorocea trophoides* y *Trema micrantha* registraron 51 esporas cada una. *Triplaris cumingiana* y *Brosimum alicastrum* mostraron abundancias intermedias, con 61 y 86 esporas respectivamente.

La abundancia de esporas en el suelo no siempre se correlaciona directamente con el porcentaje de colonización micorrízica en las raíces (Zubek et al., 2022). Estudios han demostrado que la presencia de esporas no garantiza una colonización efectiva, ya que factores como la viabilidad de las esporas, la compatibilidad planta-hongo y las condiciones edáficas influyen en la eficiencia de la colonización (Agrawal y Mago, 2021). En este estudio, a pesar de la alta abundancia de esporas en *Castilla elastica*, se observó un bajo porcentaje de colonización, lo que sugiere una posible incompatibilidad o condiciones desfavorables para la colonización efectiva.

La variabilidad en la abundancia de esporas también puede reflejar diferencias en la producción de esporas por parte de las comunidades de HMA asociadas a cada especie vegetal. Factores como la edad de las plantas, la estacionalidad y las prácticas de manejo del suelo pueden influir en la producción y dispersión de esporas en el ecosistema (Paz et al., 2021). Comprender estos patrones es esencial para el desarrollo de estrategias de manejo y conservación de la diversidad micorrízica en bosques tropicales.

El análisis de la relación entre la abundancia de esporas en el suelo y el porcentaje de colonización micorrízica en las raíces reveló una correlación no lineal. A pesar de que *Castilla*

elastica presentó la mayor abundancia de esporas, mostró el porcentaje más bajo de colonización. En contraste, *Sorocea trophoides* y *Trema micrantha* registraron una menor abundancia de esporas, pero altos niveles de colonización.

Estos resultados sugieren que la eficiencia de colonización no depende únicamente de la cantidad de esporas disponibles en el suelo. La compatibilidad entre las especies vegetales y los HMA, así como la viabilidad y estado fisiológico de las esporas, juegan roles cruciales en el establecimiento de asociaciones micorrízicas efectivas (Fasusi et al., 2021). Además, factores ambientales como la humedad del suelo, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes pueden influir en la germinación de esporas y la colonización de raíces (Arévalo et al., 2023).

La falta de una correlación directa entre la abundancia de esporas y la colonización micorrízica destaca la complejidad de las interacciones planta-hongo en ecosistemas tropicales. Estos hallazgos enfatizan la necesidad de considerar múltiples factores bióticos y abióticos al estudiar las dinámicas de las comunidades micorrízicas y su impacto en la salud y productividad de los ecosistemas forestales.

Conclusión

Los resultados evidencian una alta diversidad de HMA en el bosque protector Pedro Franco Dávila, con asociaciones simbióticas variables según la especie forestal. *Triplaris cumingiana* y *Sorocea trophoides* destacaron por su diversidad y colonización, mientras que *Castilla elastica* mostró valores bajos. La abundancia de esporas no se correlacionó directamente con la colonización radicular, evidenciando la influencia de factores ecológicos y funcionales. Estos hallazgos son clave para programas de restauración y manejo forestal, resaltando la importancia de seleccionar especies vegetales con alta afinidad micorrízica para mejorar la resiliencia y productividad de los ecosistemas tropicales.

Referencias bibliográficas

- Agrawal, Y., & Mago, P. (2021). Correlation of spore count and root colonization by Arbuscular Mycorrhizal Fungi in nickel contaminated soils. *Asian Journal of Research in Biology*, 4(1), 16-23.
- Arévalo, V., Hickey-Darquea, A., Prado, B., & van 't Hof, P. (2023). Exploring the mycobiome and arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of the genus *Inga* in the pristine Ecuadorian Amazon. *Frontiers in Fungal Biology*, 4, 1086194. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2023.1086194>
- Arévalo-Granda, V., Hickey-Darquea, A., Prado-Vivar, B., Zapata, S., Duchicela, J., & van 't Hof, P. (2023). Exploring the mycobiome and arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rizosphere of the genus *Inga* in the pristine Ecuadorian Amazon. *Frontiers in Fungal Biology*, 4, 1086194.
- Duchicela, J., Valdivieso, A., Prado-Vivar, B., Arévalo-Granda, V., Hickey-Darquea, A., & Hof, P. V. T. (2022). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the Ecuadorian Amazon region. In *Mycorrhizal Fungi in South America: Biodiversity, Conservation, and Sustainable Food Production* (pp. 141-170). Cham: Springer International Publishing.
- Dueñas, J. F., Camenzind, T., Roy, J., Hempel, S., Homeier, J., Suárez, J. P., & Rillig, M. C. (2020). Moderate phosphorus additions consistently affect community composition of arbuscular mycorrhizal fungi in tropical montane forests in southern Ecuador. *New Phytologist*, 227(5), 1505–1518. <https://doi.org/10.1111/nph.16641>
- Fasusi, O. A., Amoo, A. E., & Babalola, O. O. (2021). Propagation and characterization of viable arbuscular mycorrhizal fungal spores within maize plant (*Zea mays* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(14), 5834-5841.
- Gautam, S., & Chaurasia, B. (2025). Colonization pattern of arbuscular mycorrhizal fungi in invasive plant species of tropical dry deciduous forest of Belgahna range of Central India. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 13(1), 267–272. <http://doi.org/10.7324/JABB.2024.204863>
- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving & decanting.
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New phytologist*, 489-500.
- Guigard, L., Jobert, L., Busset, N., Moulin, L., & Czernic, P. (2023). Symbiotic compatibility between rice cultivars and arbuscular mycorrhizal fungi genotypes affects rice growth and mycorrhiza-induced resistance. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1278990.
- Guo, X., Wang, P., Wang, X., Li, Y., & Ji, B. (2022). Specific plant mycorrhizal responses are linked to mycorrhizal fungal species interactions. *Frontiers in Plant Science*, 13, 930069.
- Herrera Monroy, S., Herrera Monroy, M., & Rivera Ramírez, J. M. (2023). Systematic review on arbuscular mycorrhizal fungi and their ecological importance. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(2), 00-00.
- Ilbay-Yupa, M., Lavado-Casimiro, W., Rau, P., Zubieta, R., & Castellón, F. (2021). Updating

- regionalization of precipitation in Ecuador. *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 1513-1528.
- International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal-INVAM. (2025). University of Kansas.
- Khaliq, A., Perveen, S., Alamer, K. H., Zia Ul Haq, M., Rafique, Z., Alsudays, I. M., ... & Attia, H. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis to enhance plant–soil interaction. *Sustainability*, 14(13), 7840.
- Mestanza, C., Monar-Nuñez, J., Guala-Alulema, P., Montenegro-Zambrano, Y., Herrera-Chávez, R., Milanes, C. B., ... & Toledo-Villacís, M. (2023). A review to update the Protected Areas in Ecuador and an analysis of their main impacts and conservation strategies. *Environments*, 10(5), 79.
- Oehl, F., Laczko, E., Bogenrieder, A., & van der Heijden, M. G. (2021). Taxonomic and ecological importance of the Glomeraceae in tropical forest soils. *Mycological Progress*, 20, 1097–1113. <https://doi.org/10.1007/s11557-021>
- Paz, C., Öpik, M., Bulascoschi, L., Bueno, C. G., & Galetti, M. (2021). Dispersal of arbuscular mycorrhizal fungi: evidence and insights for ecological studies. *Microbial Ecology*, 81(2), 283-292.
- 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-IN18.
- Prieto-Benavides, O. O., Vivanco-Ube, J. L., Cedeño-Moreira, Á. V., Urdánigo-Zambrano, J. P., Maddela, N. R., & Garcés-Fiallos, F. R. (2025). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and Soil Physicochemical Parameters in Forest Species of the Abras de Mantequilla Wetland, Ecuador. *Scientia Agropecuaria*, 16(1), 7-15.
- Singavarapu, B., ul Haq, H., Darnstaedt, F., Nawaz, A., Beugnon, R., Cesarz, S., ... & Wubet, T. (2024). Influence of tree mycorrhizal type, tree species identity, and diversity on forest root-associated mycobiomes. *New Phytologist*, 242(4), 1691-1703.
- Zhang, G., Zhou, G., Zhou, X., Zhou, L., Shao, J., Liu, R., ... & Delgado-Baquerizo, M. (2023). Effects of tree mycorrhizal type on soil respiration and carbon stock via fine root biomass and litter dynamic in tropical plantations. *Journal of Plant Ecology*, 16(1), rtac056.
- Zubek, S., Kapusta, P., Rożek, K., Błaszowski, J., Gielas, I., Nobis, M., ... & Nowak, A. (2022). Fungal root colonization and arbuscular mycorrhizal fungi diversity in soils of grasslands with different mowing intensities. *Applied Soil Ecology*, 172, 104358.