

DIVERSIDAD Y FUNCIÓN DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES EN UN AGROECOSISTEMA SOSTENIBLE DEL HUMEDAL ABRAS DE MANTEQUILLA

DIVERSITY AND FUNCTION OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAE IN A SUSTAINABLE AGROECOSYSTEM OF THE ABRAS DE MANTEQUILLA WETLAND

Jennifer Lisseth Vivanco Ube ¹

¹ Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible, Facultad de Posgrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8426-8854>. Correo: jennifer.vivanco2016@uteq.edu.ec

Oscar Oswaldo Prieto Benavides ^{2*}

² Maestría en Agroecología y Desarrollo Sostenible, Facultad de Posgrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4101-0523>. Correo: oprieto@uteq.edu.ec

Juan Pablo Urdánigo Zambrano ³

³ Carrera de Biología, Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8972-0279>. Correo: jurdanigo@uteq.edu.ec

Freddy Agustín Sabando Ávila ⁴

⁴ Carrera de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7011-7904>. Correo: fsabando@uteq.edu.ec

*** Autor para correspondencia:** oprieto@uteq.edu.ec

Resumen

El humedal Abras de Mantequilla, ubicado en Ecuador es considerado como sitio RAMSAR por su extrema importancia para los ecosistemas acuáticos y terrestres, este lugar enfrenta desafíos debido a actividades humanas como la extracción de agua, la deforestación y la explotación pesquera. Existe una necesidad apremiante de proteger este humedal no solo para mantener su biodiversidad, sino también por sus funciones esenciales, como la retención y purificación del agua. El presente estudio se centró en la fertilidad del suelo,

particularmente en relación con los hongos *micorrízicos arbusculares* (HMA), en el bosque secundario "Noé Morán" dentro del humedal Abras de Mantequilla. Se destacó el papel clave de los HMA en la mejora de la fertilidad del suelo. Los métodos utilizados incluyeron muestreo de suelo e identificación de especies de HMA, así como análisis de propiedades físicas y químicas del suelo. Se recolectaron muestras de suelo de la zona de raíces de cuatro especies arbóreas (*Castilla elástica*, *Albizia saman*, *Erythrina poeppigiana* y *Duguetia peruviana*) y se llevaron al laboratorio para su análisis. Los resultados mostraron diferencias en las propiedades fisicoquímicas del suelo entre las especies forestales estudiadas, así como variaciones en la abundancia y diversidad de especies de HMA asociadas con cada especie arbórea. Se enfatizó la importancia de comprender estas interacciones suelo-planta-microorganismo para promover prácticas agrícolas sostenibles en el humedal Abras de Mantequilla.

Palabras clave: fertilidad; sostenible; análisis; diversidad; especies; abundancia

Abstract

*The Abras de Mantequilla wetland, located in Ecuador, is considered a RAMSAR site because of its extreme importance for aquatic and terrestrial ecosystems, this place faces challenges due to human activities such as water extraction, deforestation and fishing exploitation. There is a pressing need to protect this wetland not only to maintain its biodiversity, but also for its essential functions, such as water retention and purification. The present study focused on soil fertility, particularly in relation to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), in the secondary forest "Noé Morán" within the Abras de Mantequilla wetland. The key role of AMF in improving soil fertility was highlighted. The methods used included soil sampling and identification of AMF species, as well as analysis of soil physical and chemical properties. Soil samples were collected from the root zone of four tree species (*Castilla elástica*, *Albizia saman*, *Erythrina poeppigiana* and *Duguetia peruviana*) and taken to the laboratory for analysis. The results showed differences in soil physicochemical properties among the forest species studied, as well as variations in the abundance and diversity of AMF species associated with each tree species. The importance of understanding these soil-plant-microorganism interactions for promoting sustainable agricultural practices in the Abras de Mantequilla wetland.*

Keywords: fertility; sustainable; analysis; diversity; species; abundance

Fecha de recibido: 12/03/2024

Fecha de aceptado: 20/05/2024

Fecha de publicado: 22/05/2024

Introducción

Los humedales adyacentes a los hábitats de los ríos tropicales albergan una diversa gama de flora y fauna altamente especializada (Boavida, 1999; Quevedo, 2008). Estos humedales funcionan como corredores vitales, tanto longitudinales como transversales, facilitando la dispersión de la biodiversidad. Estos ecosistemas desempeñan múltiples funciones esenciales, incluyendo la retención de agua, el control de

inundaciones, la purificación del agua, así como la provisión de recursos pesqueros y forestales (Álvarez-Mieles *et al.*, 2013). Los humedales costeros comprenden una variedad de entornos, tanto naturales como artificiales, caracterizados por su inundación permanente o temporal con agua dulce, estuarina (salobre) o salina. Además, incluyen regiones marinas con profundidades que no superan los 6 metros respecto al nivel medio del mar, según lo estipulado en el Convenio RAMSAR de 1971.

En Ecuador, el humedal "Abras de Mantequilla" ha sido designado como sitio Ramsar desde el 14 de marzo de 2000, lo que implica que la biodiversidad presente está protegida bajo las normativas y directrices de la Convención RAMSAR, la cual busca fomentar el desarrollo del territorio considerando sus condiciones ecológicas, botánicas, zoológicas, limnológicas e hidrológicas (Painii Montero *et al.*, 2022). Sin embargo, a pesar de esta designación, el humedal Abras de Mantequilla se enfrenta a una serie de presiones de origen humano, incluyendo la extracción de agua para riego y consumo, la deforestación, la intensificación agrícola y la explotación pesquera (Quevedo, 2008; Alvarez-Mieles *et al.*, 2013). Estas actividades están ejerciendo una presión significativa sobre la biodiversidad y la salud general del humedal Abras de Mantequilla.

Este ecosistema está compuesto por lagunas de inundación permanente y áreas de inundación temporal, así como remanentes de bosque seco tropical (Freile y Santander, 2005). Se ubica dentro del piso zoogeográfico Tropical Suroccidental (Albuja *et al.*, 2012), y el tipo de ecosistema predominante es el herbazal inundable ripario, con pequeños remanentes de bosque deciduo de tierras bajas de la Costa (MAE, 2013). Además, en la zona predomina el uso de suelo de tipo agropecuario, donde se identifica una zona boscosa conocida como "Bosque Noé Morán", compuesta por un parche o remanente de bosque con escasa intervención humana y presencia de especies forestales de sucesión secundaria. Esta área, que tiene una extensión aproximada de 10.6 hectáreas, es considerada como un agroecosistema sostenible del sitio.

El mantenimiento de la fertilidad del suelo en entornos tropicales y la promoción de la agricultura sostenible, como es el caso del humedal Abras de Mantequilla, enfrentan una serie de desafíos multifacéticos. Entre estos desafíos se incluyen la escasez de nutrientes, el estrés hídrico, la erosión, la fijación de fósforo, la acidez del suelo y la diversidad biológica del suelo, que hacen que los suelos sean especialmente susceptibles a la degradación y, por ende, afecten negativamente al crecimiento y desarrollo de las plantas (Cardoso y Kuyper, 2006; Qiu *et al.*, 2019).

La dinámica ambiental gradual ejerce una influencia significativa en la distribución de los árboles y los organismos asociados, como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), cuya red de hifas mejora la absorción de agua y minerales esenciales por parte de las raíces colonizadas (Usman *et al.*, 2021; Vieira *et al.*, 2020). Estos hongos establecen relaciones simbióticas con aproximadamente el 80% de las plantas vasculares terrestres (Solís-Rodríguez *et al.*, 2020), desempeñando un papel crucial en el establecimiento y mantenimiento de comunidades vegetales en ecosistemas forestales (Wang *et al.*, 2019). Sus efectos en la fisiología de la planta huésped, incluida la absorción de nutrientes del sistema radicular y la mejora del almacenamiento de carbono en el suelo a través del micelio extraradical, proporcionan una vía importante para la translocación de carbono derivado de la fotosíntesis a micrositios, lo que contribuye a mantener la estructura del suelo (Rillig, 2004; Islam *et al.*, 2022).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) desempeñan un papel crucial en la movilización de nitrógeno y fósforo de polímeros orgánicos, la liberación de nutrientes de partículas minerales mediante la

meteorización, y en la mediación de las respuestas de las plantas a factores de estrés como la sequía, la acidificación del suelo, los metales tóxicos y los patógenos vegetales. Además, establecen una variedad de interacciones con otros microorganismos del suelo, contribuyendo así a mejorar la fertilidad del suelo en términos de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Hartmann y Six, 2023).

Para evaluar la fertilidad del suelo, se emplean una serie de indicadores físicos, químicos y biológicos. Los indicadores físicos abarcan la textura del suelo, la agregación, la humedad, la porosidad y la densidad aparente, mientras que los indicadores químicos incluyen el pH del suelo, el carbono y nitrógeno total, los nutrientes minerales, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico. Asimismo, los indicadores biológicos, como la biomasa microbiana, son fundamentales para comprender y monitorear de manera integral la fertilidad del suelo.

La formación de la simbiosis entre hongos y plantas en entornos poco perturbados, como el bosque secundario "Noé Morán", posee una importancia crucial debido a los beneficios que los HMA proporcionan a las plantas. Estos beneficios incluyen una mayor absorción de nutrientes esenciales, como fósforo, nitrógeno, potasio y calcio, a través de las redes de hifas externas, facilitada por transportadores como la H⁺-ATPasa (Guzmán y Farías, 2005), así como un aumento en la resistencia contra agentes patógenos, gracias a la capacidad de las micorrizas para inhibir el crecimiento de otros microorganismos competidores que podrían afectar negativamente a las plantas (Ullah *et al.*, 2024).

En la actualidad, la gestión inadecuada de los bosques y la pérdida continua de vegetación han ocasionado efectos negativos, como el aumento de la degradación del suelo y la alteración de la microflora y fauna benéficas en la agricultura convencional. Frente a esta problemática, es crucial implementar medidas de control, como la nutrición orgánica o ecológica, con el fin de establecer sistemas autosostenibles que aprovechen las respuestas naturales del ecosistema, como el uso de abonos verdes, humus, compost y microorganismos beneficiosos. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son particularmente relevantes en este contexto, ya que contribuyen a movilizar y reciclar nutrientes para mejorar la fertilidad del suelo.

En este estudio, se buscó identificar qué especies de HMA están estableciendo simbiosis beneficiosas con las especies forestales más representativas del bosque secundario "Noé Morán" del Humedal Abras de Mantequilla. Este análisis permitió obtener un mejor entendimiento de las interacciones suelo-planta-microorganismo en este agroecosistema sostenible.

Materiales y métodos

Área de estudio y diseño del muestreo

Este estudio se llevó a cabo en el bosque "Noé Morán", situado en el Humedal Abras de Mantequilla, en el Cantón Vines, Provincia de Los Ríos (ver Figura 1). Este humedal abarca una extensión de 56,000 hectáreas y se encuentra en la región central de la provincia de Los Ríos, en las coordenadas 1° 28' 0" S y 79° 34' 59" W. En el año 2000, fue designado como sitio Ramsar debido a su importancia como área de anidación para diversas especies migratorias de aves y por su rica fauna ictiológica autóctona. Este humedal está compuesto por depresiones naturales en el terreno que se alimentan principalmente de las aguas de la precipitación pluvial, así como del aporte hídrico de ríos y arroyos, con altitudes que oscilan entre los 5 y 10 metros (Quevedo, 2008).

La presente investigación se llevó a cabo durante la época lluviosa del año 2023. Se seleccionaron cuatro de las especies forestales más numerosas y representativas del bosque “Noé Morán”: *Castilla elástica* (Caucho), *Albizia saman* (Saman), *Erythrina poeppigiana* (Chala) y *Duguetia peruviana* (Piñuelo). Se colectaron tres muestras de suelo en las inmediaciones de cada una de estas especies forestales, en puntos establecidos al azar dentro del bosque, lo que dio un total de 12 muestras para todo el experimento. Cada muestra consistió en tres submuestras tomadas dentro de un radio de un metro del punto principal de recolección, totalizando aproximadamente 2 kg de suelo por muestra. La recolección de las muestras se realizó utilizando un barreno holandés a una profundidad de 0-20 cm, y la herramienta se limpió meticulosamente con alcohol al 98% entre cada toma de muestras para evitar la contaminación. Posteriormente, las muestras de suelo se colocaron en bolsas de plástico previamente identificadas y selladas herméticamente, y se almacenaron en cajas frías con hielo. Luego fueron trasladadas al laboratorio de Química y Bioquímica de la UTEQ, donde se refrigeraron a una temperatura de 6 a 10 °C. En el laboratorio, se llevaron a cabo los procesos de aislamiento, conteo e identificación de las esporas de HMA, así como el análisis fisicoquímico del suelo del bosque secundario “Noé Morán”.

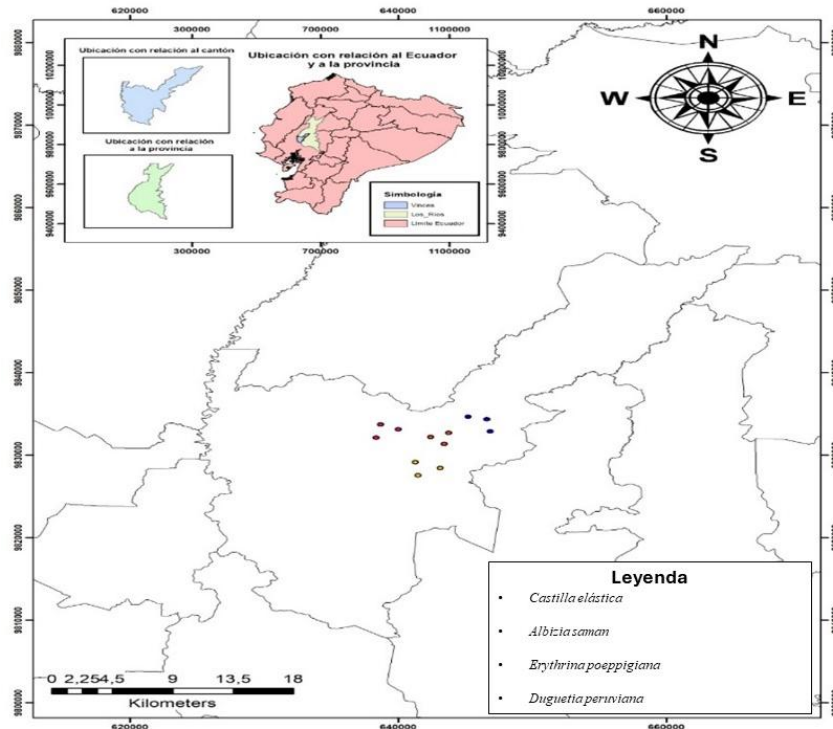


Figura 1. Representación de la ubicación de los puntos designados para la toma de muestras de suelo en el bosque secundario Noé Morán, ubicado dentro del Humedal Abras de Mantequilla, en el Cantón Vinces, Provincia de Los Ríos, Ecuador.

Análisis granulométrico y químico del suelo

Una porción de 300 cm³ de cada muestra de suelo fue enviada al laboratorio suelo y agua de la estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, ubicado en el km 5 Vía Quevedo-El Empalme, Cantón

Mocache, provincia de Los Ríos para la realización de los análisis. La textura del suelo se determinó por el método de la pipeta (Teixeira *et al.* 2017). El pH del suelo se midió con agua destilada (1:1), y el P K, Cu, Fe, Zn y Mn se extrajeron en una solución de Mehlich-1. Los elementos de Ca, Mg, y Al se extrajeron con una solución de $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{CaH}_2\text{O}$. El azufre se extrajo en una solución de SO_4 . El boro se extrajo en agua caliente. La materia orgánica se evaluó mediante la oxidación de las muestras de suelo con una solución sulfocrómica y se determinó mediante el Método Black (Teixeira *et al.* 2017).

Extracción e identificación de esporas de HMA

Las esporas de HMA se extrajeron de 100 g de cada muestra de suelo por el método de tamizado húmedo (Gerdemann y Nicoloson 1963) seguido de centrifugación en un gradiente de sacarosa (20 y 60%). Para el tamizado húmedo se utilizaron tamices anidados con aberturas de 200, 100 y 50 μm . El material atrapado en el tamiz de 200 μm se transfirió a una placa de Petri y se inspeccionó con un microscopio de disección para detectar y recoger esporas y esporocarpos grandes. Los materiales recogidos en los otros tamices se transfirieron a tubos Falcon que contenían el gradiente de sacarosa y se centrifugaron a 3000 rpm durante 3 minutos. El sobrenadante de la centrifugación se decantó en un tamiz de 50 μm , se lavó con agua destilada estéril para eliminar el exceso de sacarosa y se transfirió a placas de Petri para una inspección más detallada de las esporas de AMF bajo un microscopio de disección. Las características fenotípicas de las esporas, como el tamaño, el color, la forma y la fijación hifal, se utilizaron para distinguir los distintos morfotipos. Las esporas de cada morfotipo se montaron permanentemente en portaobjetos con polivinil-lacto glicerol (PVLG) y PVLG mezclado con reactivo de Melzer (1:1, v/v) y se examinaron con un microscopio compuesto y montado en cámara (Leica DM 2500).

Las esporas se identificaron a nivel de género y especie basándose en el análisis de la estructura de la pared de la espóra, la reacción de Melzer y otras características taxonómicamente informativas. Se realizaron comparaciones con el catálogo original de la descripción de especies, con las descritas en Blaszkowski (2012) y con fotos en línea de cultivos de referencia de INVAM (<http://invam.wvu.edu> - West Virginia University, EE.UU.) para identificar las esporas de HMA a nivel de género y especie. Las esporas glomoides que no pudieron ser atribuidas a especie fueron asignadas en *Glomus*. La clasificación taxonómica que se siguió de referencia es la propuesta por Redecker *et al.* (2013). La abundancia total de esporas de HMA (por 100 g de suelo) se obtuvo contando las esporas de cada muestra de suelo. El número de muestras en las que se detectaron esporas de una especie concreta se utilizó para calcular la frecuencia de ocurrencia (FO), expresada como porcentaje. La riqueza de especies de HMA (S) se determinó contando las especies fúngicas por muestra de suelo. El número de esporas de cada especie se utilizó como medida de la abundancia de especies para calcular el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H), y la relación entre la diversidad observada y la diversidad máxima esperada entre tipos de bosque se determinó basándose en la composición de especies de HMA mediante el índice de equitatividad de Pielou (J).

Análisis de riqueza y abundancia de esporas de HMA

Los datos sobre la abundancia total de esporas fueron transformados mediante la función $\log(x + 1)$ antes del análisis, con el fin de cumplir con los requisitos de normalidad y homogeneidad de la varianza. Para verificar la normalidad, se llevaron a cabo la prueba de Kolmogorov-Smirnov, mientras que la homogeneidad de la varianza se evaluó mediante la prueba de Levene. Las diferencias en la abundancia total de esporas y la

riqueza de especies entre distintas ubicaciones fueron examinadas mediante un análisis unidireccional de la varianza (ANOVA), seguido de una prueba post hoc de Tukey ($P < 0,05$). Todos estos análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el paquete VEGAN dentro del entorno de software R (R Core Team 2015).

Resultados y discusión

Propiedades fisicoquímicas del suelo

El conjunto de variables fisicoquímicas reveló diferenciaciones relativas según la especie forestal en cultivo. El suelo de la especie *Albizia saman* exhibió una predominancia de arcilla, con un valor de 174%, superando significativamente a los demás cultivares. En este contexto, no se observaron alteraciones en los niveles de pH del suelo, que se mantuvieron en un rango entre 6,05 y 5,55 sin embargo Kupka y Gruba (2022), señalan que algunas especies forestales tienen la capacidad de liberar ácidos orgánicos a través de la descomposición de materia orgánica en el suelo. Estos ácidos pueden acidificar el suelo y reducir su pH.

Además, se identificaron diferencias en el contenido de hierro, con un valor de 10 mg/Kg en el suelo con predominancia de *Erythrina poeppigiana*, en comparación con el suelo de *Duguetia peruviana*, que registró un promedio de 6 mg/Kg. Varios estudios demuestran que las especies forestales tienen diferentes requerimientos de nutrientes, incluido el hierro (Singh *et al.*, 2021; Epihov *et al.*, 2021). Algunas especies pueden extraer grandes cantidades de hierro del suelo para satisfacer sus necesidades de crecimiento, lo que puede reducir el contenido de hierro disponible en el suelo (Lambers *et al.*, 2021).

Otro parámetro de importancia que reveló valores destacados fue la concentración de manganeso (Mn), donde el cultivo de *Castilla elástica* presentó las cifras más elevadas (Tabla 1), con un promedio de 11,09, en contraste con los valores más bajos obtenidos en el cultivo de *Duguetia peruviana*, con un promedio de 4,27.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del suelo donde se estudiaron las comunidades de HMA en cuatro especies forestales del Humedal Abras de Mantequilla, Ecuador.

	Castilla elástica	Albizia saman	Erythrina poeppigiana	Duguetia peruviana
Arena	274,12±59,74 ns	290,70±52,09 ns	249,67±69,28 ns	224,56±47,15 ns
Limo	71,25±11,44 ns	72,68±7,78 ns	82±25,27 ns	59±18,14 ns
Arcilla	166,68±11,15b	174,0±3,15a	89,0±17c	90,08±5,25c
pH	6,05±0,14 ns	5,55±0,41 ns	5,86±0,84 ns	5,58±0,50 ns
M.O.	23,6667±2,51 ns	23,0±1 ns	24,3333±2,08 ns	24±4 ns
P	5,66±1,52 ns	7,33333±1,15 ns	6±2,3 ns	6±1 ns
K	55±2 ns	55,33±17,95 ns	47±20,84 ns	62,33±5,12 ns
Ca	1,33±0,57 ns	1,33±0,57 ns	1,66±0,57 ns	1,68±0,55 ns
Mg	1,33±0,57 ns	1,66±0,57 ns	1,33±0,57 ns	1,66±0,57 ns
Al	6±2 ns	6±2 ns	6,25±0,57 ns	6,33±2,08 ns
S	8±1 ns	7,33±0,57 ns	7,333±0,57 ns	7,33±2,08 ns
Cu	0,63±0,15 ns	0,5±0,17 ns	0,4±0,17 ns	0,67±0,15 ns
Fe	9,41±1,52b	7,28±1,54b	10±18a	6±29c
Zn	0,293±0,06 ns	0,33±0,07 ns	0,39±0,10 ns	0,463±0,10 ns

Mn	11,09±0,17a	9,07±0,55b	8,98±2,6b	4,27±0,38c
B	0,267±0,07 ns	0,176±0,01 ns	0,29±0,07 ns	0,216±0,07 ns

Letras distintas entre especies forestales denotan diferencias significativas (prueba de Tukey, $P < 0,05$)

Abundancia de especies y familias del HMA

Los resultados de los análisis revelaron diferencia en la predominancia de la micorriza arbuscular (HMA) entre las especies forestales estudiadas. Específicamente, se observó que la especie *Castilla elástica* mostró una presencia notablemente alta de HMA, con un total de 44 esporas por gramo de suelo. Dentro de esta especie, la cepa *Acaulospora mellea* fue la más frecuente, con un valor de 17 esporas.

Por otro lado, la especie *Erythrina poeppigiana* presentó una menor presencia de HMA en comparación con las demás especies forestales objeto de este estudio, registrando un total de 16 esporas por gramo de suelo. Este hallazgo sugiere una variabilidad significativa en la asociación micorrízica entre diferentes especies de árboles.

Tanto las especies *Albizia saman* como *Duguetia peruviana* exhibieron una presencia similar de esporas de HMA en el suelo analizado. *Albizia saman* mostró un total de 22 esporas por gramo de suelo, mientras que *Duguetia peruviana* registró 23 esporas por gramo. En samán, la especie de HMA *Gigaspora* sp1 fue la más predominante, con un valor de 9 esporas, mientras que en piñuelo la especie de HMA predominante fue *Glomus* sp3 con 18 esporas por gramo de suelo.

Estos resultados demuestran que diferentes especies forestales pueden tener asociaciones micorrízicas distintas, lo que puede influir en la diversidad y distribución de estos microorganismos en el ecosistema forestal.

Tabla 2. Especies y familias de HMA y abundancia de esporas en cuatro especies forestales del Humedal Abras de Mantequilla, Ecuador

Código	Familias/AMF Especies	<i>Castilla elástica</i>	<i>Albizia saman</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Duguetia peruviana</i>
Familia Glomeraceae					
Glo1	<i>Glomus</i> sp1	5	0	0	1
Glo2	<i>Glomus</i> sp2	0	4	0	0
Glo3	<i>Glomus</i> sp3	8	0	0	18
Gmul	<i>Glomus multicaulis</i>	1	1	0	0
Familia Acaulosporaceae					
Acol	<i>Acaulospora colombiana</i> (Spain & Schenck)	4	0	2	0
	Kaonongbua, Morton and Bever				
Amel	<i>A. mellea</i> Spain and Schenck	17	1	3	1
Ascr	<i>A. scrobiculata</i> Trappe	0	1	0	0
Aspi	<i>A. spinosa</i> C. Walker and Trappe	0	4	1	0
Acau1	<i>Acaulospora</i> sp1	1	2	0	1
Acau2	<i>Acaulospora</i> sp2	0	0	3	0
Familia Gigasporaceae					

Gmar	<i>Gigaspora margarita</i> Becker and Hall	0	1	4	1
Giga1	<i>Gigaspora</i> sp1	1	9	0	0
Dbio	<i>Dentiscutata biornata</i> (Spain, Sieverd. and S. Toro) Sieverd., F.A. Souza and Oehl	4	0	3	1
Dhet	<i>D. heterogama</i> (T.H. Nicol. and Gerd.) Sieverd., F.A. Souza and Oehl	3	0	0	0

Riqueza media de especies (S) por muestra, índice de Shannon (H) e índice de equitatividad de Pielou (J)

El índice de Simpson se empleó para evaluar la diversidad de especies de hongos presentes en el suelo de cada sitio de muestreo. Los resultados revelaron un índice de Simpson superior a 0.79 en todas las áreas de estudio, lo que sugiere una alta diversidad de especies de hongos micorrízicos. Estudios realizados por Jerbi et al. (2020) señalan que la disponibilidad de agua en el suelo, influenciada por las precipitaciones y la humedad ambiental, puede tener un impacto significativo en las micorrizas. Sin embargo, las variaciones estacionales en las condiciones climáticas pueden afectar la disponibilidad de nutrientes (Faghihinia et al., 2020) y la actividad de las plantas hospedadoras, lo que a su vez influye en la diversidad de micorrizas (Bennett et al., 2020).

Estos resultados evidencian que, en términos de diversidad micorrízica, las especies forestales analizadas ejercen un impacto similar en el ecosistema, al menos dentro del contexto y condiciones específicas del estudio. Carteron et al. (2022) señalan que, aunque las especies de árboles pueden variar, logran asociarse con hongos micorrízicos similares. Estos hongos pueden proporcionar beneficios análogos a las plantas, como una mayor absorción de nutrientes del suelo (Rožek et al., 2020; Zhang et al., 2021), lo que puede conducir a resultados ecológicos comparables en términos de salud y crecimiento (Singavarapu et al., 2022). En este contexto, la falta de significancia estadística no necesariamente implica que no existan diferencias en la diversidad de micorrizas entre las especies, sino que los datos recopilados no ofrecen suficiente evidencia para demostrar una diferencia significativa.

Tabla 3. Número total de esporas de HMA (en 100 g de suelo), riqueza media de especies (S) por muestra, índice de Shannon (H) e índice de equitatividad de Pielou (J) en cuatro especies forestales del Humedal Abras de Mantequilla, Ecuador.

	<i>Castilla elástica</i>	<i>Albizia saman</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Duquetia peruviana</i>
Especies	7,1±0,25ns	6,95±08 ns	7,01±1,17 ns	6,85±0,45 ns
Individuals	33±18,27 ns	28±9,08 ns	31,26±17,25 ns	24,31±5,62 ns
Simpson_1-D	0,84±0,08 ns	0,81±0,00 ns	0,82±0,08 ns	0,77±0,11 ns
Shannon_H	1,91±0,11 ns	1,90±0,15 ns	1,9±0,31 ns	1,88±0,20 ns
Equitability_J	1±0,02 ns	0,98±0,05 ns	0,97±0,01 ns	0,94±0,10 ns

Composición de especies/familias de HMA

Los análisis de composición destacan que el ecosistema de *Castilla elástica* exhibe una diversidad notable de micorrizas asociadas al sistema radicular, contabilizando un total de 9 especies identificadas. Esto refleja un

nivel de asociación simbiótica significativo en esta especie arbórea. Estudios llevados a cabo por Waring *et al.* (2016) destacan que cada especie vegetal puede tener una relación única con ciertas especies de hongos micorrízicos, la capacidad de *Castilla elástica* para interactuar y asociarse con una variedad de micorrizas puede deberse a características específicas de su sistema radicular, exudados de raíces o metabolitos que favorecen esta diversidad (Blair *et al.*, 2004; Balieiro *et al.*, 2007).

Por otro lado, la especie *Albizia saman* presenta una cantidad ligeramente menor, pero considerable de 8 especies de micorrizas asociadas, en cuanto que *Erythrina poeppigiana* y *Duguetia peruviana* poseen 6 especies de HMA interactuando en su sistema radicular lo que sugiere una interacción saludable con su entorno subterráneo. Ciertas especies pueden ofrecer un hábitat adecuado para una variedad de micorrizas (Tedersoo *et al.*, 2020; Huey *et al.*, 2020), las condiciones del suelo y del entorno pueden no ser óptimas para sostener una diversidad tan amplia como la observada en otras especies (Janowski y Leski, 2022). Otros Factores como la disponibilidad de nutrientes, la humedad del suelo y el pH pueden influir en la diversidad y la composición de la comunidad de micorrizas asociadas a las especies forestales en estudio (Ma *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2021).

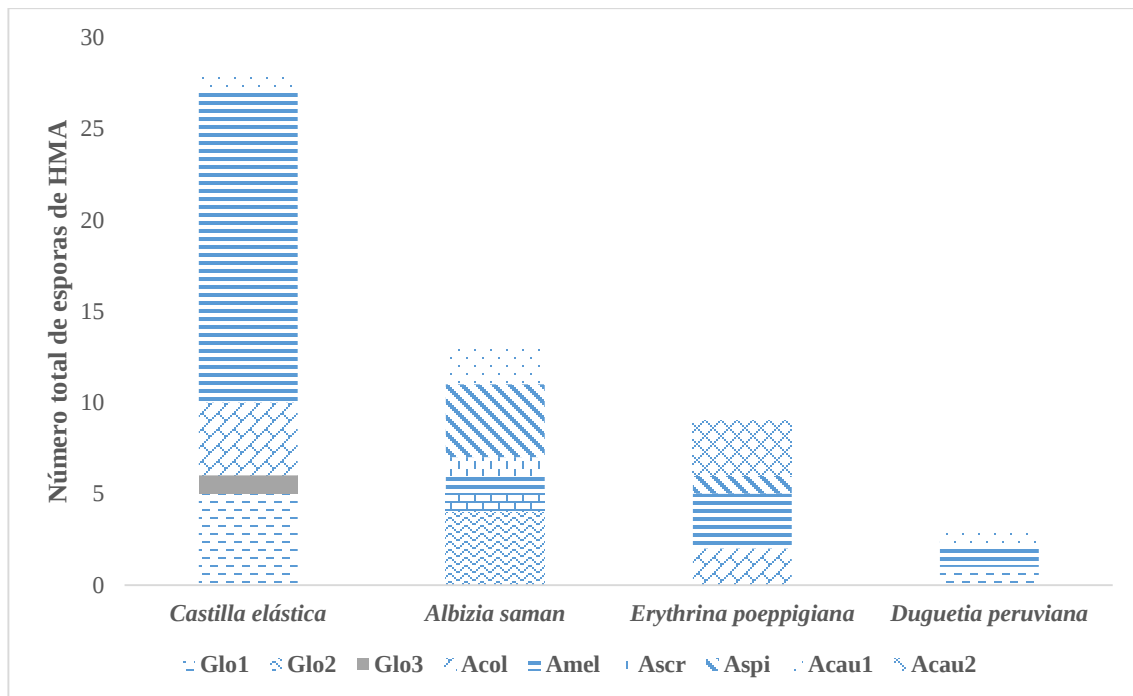


Figura 2. Número de especies de HMA detectadas por familias en cuatro especies forestales del Humedal Abras de Mantequilla, Ecuador.

Conclusiones

Los resultados de este estudio revelan diferencias significativas en las propiedades fisicoquímicas del suelo entre las especies forestales estudiadas en el humedal Abras de Mantequilla. Se observaron variaciones notables en la composición del suelo, destacando la predominancia de arcilla en el suelo de *Albizia saman* y

los niveles elevados de hierro y manganeso en el suelo asociado con *Castilla elástica*. Estos hallazgos resaltan la influencia de las especies arbóreas en la química y la estructura del suelo, lo cual puede tener implicaciones importantes para la salud y el crecimiento de las plantas en este ecosistema.

Por otro lado, los análisis de la abundancia y diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) revelaron una alta diversidad de especies en todas las áreas de estudio, indicando una asociación generalizada entre las especies forestales y los HMA en el humedal. Aunque no se encontraron diferencias significativas en la diversidad micorrízica entre las especies arbóreas, estos resultados sugieren que diferentes especies forestales pueden tener asociaciones micorrízicas distintas, lo que puede influir en la diversidad y distribución de los HMA en el ecosistema forestal. En conjunto, estos hallazgos resaltan la importancia de comprender las interacciones suelo-planta-microorganismo para la gestión y conservación efectiva de los humedales tropicales como el Abras de Mantequilla.

Referencias

- Álvarez-Mieles, G., Irvine, K., Griensven, A. V., Arias-Hidalgo, M., Torres, A., & Mynett, A. E. (2013). Relationships between aquatic biotic communities and water quality in a tropical river-wetland system (Ecuador). *Environmental Science and Policy*, 34 (december): 115–127.
- Balieiro, F. D. C., Franco, A. A., Fontes, R. L. F., Dias, L. E., Campello, E. F. C., & Faria, S. M. D. (2007). Evaluation of the throughfall and stemflow nutrient contents in mixed and pure plantations of *Acacia mangium*, *Pseudosamanea guachapele* and *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, 31, 339-346.
- Bennett, A. E., & Classen, A. T. (2020). Climate change influences mycorrhizal fungal–plant interactions, but conclusions are limited by geographical study bias. *Ecology*, 101(4), e02978.
- Blair, B. C., & Perfecto, I. (2004). Successional status and root foraging for phosphorus in seven tropical tree species. *Canadian journal of forest research*, 34(5), 1128-1135.
- Blaszkowski J (2012) Glomeromycota. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences. Kraków
- Boavida, M. J. (1999). Wetlands: Most relevant structural and functional aspects. *Limnetica*, 17, 57–63.
- Cardoso, I. M., & Kuyper, T. W. (2006). Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 116(1-2): 72-84.
- Carteron, A., Vellend, M., & Laliberte, E. (2022). Mycorrhizal dominance reduces local tree species diversity across US forests. *Nature Ecology & Evolution*, 6(4), 370-374.
- Epihov, D. Z., Saltonstall, K., Batterman, S. A., Hedin, L. O., Hall, J. S., van Breugel, M., ... & Beerling, D. J. (2021). Legume–microbiome interactions unlock mineral nutrients in regrowing tropical forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(11), e2022241118.
- Faghihinia, M., Zou, Y., Chen, Z., Bai, Y., Li, W., Marrs, R., & Staddon, P. L. (2020). Environmental drivers of grazing effects on arbuscular mycorrhizal fungi in grasslands. *Applied Soil Ecology*, 153, 103591.

- Finlay, R. D. (2008). Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany*, 59(5): 1115-1126.
- Gerdemann J, Nicolson T (1963) Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological society* 46(2):235-244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- Guzmán-González, S., & Farías-Larios, J. (2005). Biología y regulación molecular de la micorriza arbuscular. *Avances en investigación agropecuaria*, 9(2), 17-31.
- Hartmann, M., & Six, J. (2023). Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(1), 4-18.
- Huey, C. J., Gopinath, S. C., Uda, M. N. A., Zulhaimi, H. I., Jaafar, M. N., Kasim, F. H., & Yaakub, A. R. W. (2020). Mycorrhiza: a natural resource assists plant growth under varied soil conditions. *3 Biotech*, 10, 1-9.
- Islam, M., Al-Hashimi, A., Ayshasiddeka, M., Ali, H., & El Enshasy, H. (2022). Prevalence of mycorrhizae in host plants and rhizosphere soil: A biodiversity aspect. *Plos One*, 17 (3).
- Janowski, D., & Leski, T. (2022). Factors in the distribution of mycorrhizal and soil fungi. *Diversity*, 14(12), 1122.
- Jerbi, M., Labidi, S., Lounes-Hadj Sahraoui, A., Chaar, H., & Ben Jeddi, F. (2020). Higher temperatures and lower annual rainfall do not restrict, directly or indirectly, the mycorrhizal colonization of barley (*Hordeum vulgare* L.) under rainfed conditions. *PloS one*, 15(11), e0241794.
- Kupka, D., & Gruba, P. (2022). Effect of pH on the sorption of dissolved organic carbon derived from six tree species in forest soils. *Ecological Indicators*, 140, 108975.
- Lambers, H., Wright, I. J., Guilherme Pereira, C., Bellingham, P. J., Bentley, L. P., Boonman, A., ... & Xu, Y. (2021). Leaf manganese concentrations as a tool to assess belowground plant functioning in phosphorus-impooverished environments. *Plant and soil*, 461, 43-61.
- Liu, M., Shen, Y., Li, Q., Xiao, W., & Song, X. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungal colonization and soil pH induced by nitrogen and phosphorus additions affects leaf C: N: P stoichiometry in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests. *Plant and Soil*, 461, 421-440.
- Ma, X., Geng, Q., Zhang, H., Bian, C., Chen, H. Y., Jiang, D., & Xu, X. (2021). Global negative effects of nutrient enrichment on arbuscular mycorrhizal fungi, plant diversity and ecosystem multifunctionality. *New Phytologist*, 229(5), 2957-2969.
- MAE. 2013. Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Ministerio del Ambiente del Ecuador, Quito.
- Painii Montero, V. F., Santillán Muñoz, O. B., & Cuásquer Fuel, J. E. . (2022). Los impactos ecológicos productivos por actividades agrícolas en el humedal Abras de Mantequilla, Ecuador. *Investigación, Tecnología E Innovación*, 14(16), 16–28.

- Quevedo, O. (2008). Ficha Ramsar del Humedal Abras de Mantequilla - Ecuador 2008. Guayaquil, Ecuador. Retrieved from <http://suia.ambiente.gob.ec>
- Qiu, L., Bi, Y., jiang, B., Wang, Z., Zhang, Y., & Zhakypbek., Y. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate the chemical properties and enzyme activities of rhizosphere soil in reclaimed mining subsidence in northwestern China. *Journal of Arid Land*, 11: 135-147.
- R Core Team (2015) A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna
- Redecker D, Schüßler A, Stockinger H, Stürmer S, Morton J, Walker C (2013) An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza* 23(7):515-531. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0486-y>
- Rillig, M. C. (2004). Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, 84(4).
- Rożek, K., Rola, K., Błaszowski, J., Leski, T., & Zubek, S. (2020). How do monocultures of fourteen forest tree species affect arbuscular mycorrhizal fungi abundance and species richness and composition in soil. *Forest ecology and management*, 465, 118091.
- Singavarapu, B., Beugnon, R., Bruelheide, H., Cesarz, S., Du, J., Eisenhauer, N., ... & Wubet, T. (2022). Tree mycorrhizal type and tree diversity shape the forest soil microbiota. *Environmental Microbiology*, 24(9), 4236-4255.
- Singh, D., Sillu, D., Kumar, A., & Agnihotri, S. (2021). Dual nanozyme characteristics of iron oxide nanoparticles alleviate salinity stress and promote the growth of an agroforestry tree, *Eucalyptus tereticornis* Sm. *Environmental Science: Nano*, 8(5), 1308-1325.
- Solís-Rodríguez, U. R., Ramos-Zapata, J. A., Ramos-Zapata, J. A., Hernández-Cuevas, L., & Salinas-Peba, L. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi diversity and distribution in tropical low flooding forest in Mexico. *Mycol Progress*, 19:195–204.
- Tedersoo, L., Bahram, M., & Zobel, M. (2020). How mycorrhizal associations drive plant population and community biology. *Science*, 367(6480), eaba1223.
- Teixeira P, Donagemma G, Fontana A, Teixeira W (2017) Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos, Brasília
- Ullah, A., Gao, D., & Wu, F. (2024). Common mycorrhizal network: the predominant socialist and capitalist responses of possible plant–plant and plant–microbe interactions for sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1183024.
- Usman, M., Ho-Plágaro, T., Frank, H., Calvo-Polanco, M., Gaillard, I., Garcia, K., & Zimmermann, D. (2021). Mycorrhizal Symbiosis for Better Adaptation of Trees to Abiotic Stress Caused by Climate Change in Temperate and Boreal Forests. *Frontiers in Forests and Global Change*.
- Vieira, L. C., Silva, D. K., Escobar, I. E., Silva, J. M., Moura, I. A., Oehl, F., & Silva, G. A. (2020). Changes in an Arbuscular Mycorrhizal Fungi Community Along an Environmental Gradient. *Plants*, 9(1): 52.

- Wang, J., Wang, G. G., Zhang, B., Yuan, Z., & Fu, Z. (2019). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Tree Species in a Planted Forest of Eastern China. *Forests*, 10(5): 424.
- Waring, B. G., Gei, M. G., Rosenthal, L., & Powers, J. S. (2016). Plant–microbe interactions along a gradient of soil fertility in tropical dry forest. *Journal of Tropical Ecology*, 32(4), 314-323.
- Zhang, J., Quan, C., Ma, L., Chu, G., Liu, Z., & Tang, X. (2021). Plant community and soil properties drive arbuscular mycorrhizal fungal diversity: A case study in tropical forests. *Soil Ecology Letters*, 3, 52-62.