



Diversidad de hongos formadores de micorriza arbuscular en plantas cultivadas de *Swietenia macrophylla* en la Amazonía peruana

Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in cultivated plants of *Swietenia macrophylla* in the Peruvian Amazon

Herrera, Isabel¹; Krystel C. Rojas^{1*}; Merlin H. Gárate²; Héctor Guerra¹; Jorge M. Revilla¹; Ymber Flores³; Ewald Sieverding⁴

¹ Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Programa de Investigación en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ecosistémicos. Carretera Federico Basadre Km 12.400, Pucallpa, Coronel Portillo, Perú.

² Colegio de Ingenieros del Perú (CIP). Jr. Tacna 551. Pucallpa, Coronel Portillo, Perú.

³ Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Avenida Centenario Km 4.00, Pucallpa, Coronel Portillo, Perú.

⁴ Universidad de Hohenheim, Instituto de Ciencias Agrícolas en los Trópicos (Instituto de Hans-Ruthenberg), Garbenstr. 13, 70599 Stuttgart Hohenheim, Alemania.

* Autor correspondiente: <krojas@iiap.gob.pe>

Resumen

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) constituyen un potencial microbiano, para su uso sostenible en la agroforestería y restauración ecológica. Actualmente en Perú la contribución de diversidad HMA es limitada y no existen reportes de la diversidad nativa de HMA asociados a plantas cultivadas de caoba (*Swietenia macrophylla* G. King), una especie forestal vulnerable, de interés en programas de reforestación y restauración ecológica. El objetivo de este estudio fue identificar la diversidad de morfoespecies de HMA en plantas cultivadas de *S. macrophylla* G. King, así como el número de esporas y porcentaje de colonización de HMA en cinco zonas de muestreo ubicadas en los departamentos de Ucayali, San Martín y Huánuco. Se emplearon quince individuos de *S. macrophylla* G. King por cada zona de muestreo. Se identificaron 35 morfoespecies de HMA en el área de estudio, encontrando mayor riqueza de morfoespecies en los distritos de Chazuta y Von Humboldt

► Ref. bibliográfica: Herrera, I.; Rojas, K. C.; Gárate, M. H.; Guerra, H.; Revilla, J. M.; Flores, Y.; Sieverding, E. 2025. Diversidad de hongos formadores de micorriza arbuscular en plantas cultivadas de *Swietenia macrophylla* en la Amazonía peruana. *Lilloa* 62 – Suplemento N° 2: "Interacciones biológicas en un mundo cambiante": 77-95. doi: <https://doi.org/10.30550/j.lii/2095>

► Recibido: 14 de diciembre 2024 – Aceptado: 25 de abril 2025 – Publicado: 27 de junio 2025.



► URL de la revista: <http://lilloa.lillo.org.ar>

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

departamento de San Martín y Ucayali respectivamente. Las especies de HMA predominantes fueron las de las familias Acaulosporaceae y Glomeraceae con 13 en cada familia. *Ambispora reticulata* se encontró en común para cuatro zonas de muestreo; mientras que 19 morfoespecies se encontraron exclusivas de una zona de muestreo. El estudio reveló mayor número de esporas en las zonas de muestreo con plantas de menos de un año de establecimiento. El porcentaje de colonización no varió significativamente entre los sitios, donde se encontraron en promedio 42% de colonización por HMA en raíces en todas las zonas de muestreo.

Palabras clave: Acaulosporaceae; agroforestal; caoba; diversidad; HMA; morfoespecies.

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) constitute a microbial resource with potential for sustainable application in agroforestry and ecological restoration. Currently in Peru, the documented diversity of AMF diversity is limited, and no prior reports exist on the native AMF diversity associated with cultivated plants of mahogany (*Swietenia macrophylla* G. King), a vulnerable forest species of interest in reforestation and ecological restoration programs. This study aimed to identify the diversity of AMF morphospecies in cultivated *S. macrophylla* plants, as well as the number of spores and the percentage of AMF root colonization across five sampling areas located in the departments of Ucayali, San Martín and Huánuco. Fifteen individuals of *S. macrophylla* G. King were sampled in each sampling area. Thirty-five AMF morphospecies were identified in the study areas, with the highest richness found in the districts of Chazuta and Von Humbolt, within the departments of San Martín and Ucayali, respectively. The most predominant AMF species belonged to the Acaulosporaceae and Glomeraceae families, with 13 species per family. *Ambispora reticulata* was found in common for four sampling areas; while 19 morphospecies were exclusive to a single sampling area. The study revealed a higher number of spores in the sampling areas with plants less than one year of age. The average percentage of root colonization by AMF was 42% and did not vary significantly among the sampling locations.

Keywords: Acaulosporaceae; agroforestry; AMF morphospecies; diversity; mahogany.

INTRODUCCIÓN

Los Hongos micorrícicos arbusculares (HMA) se asocian con el 72% de las plantas vasculares (Brundrett y Tedersoo, 2018). Estos microorganismos están presentes en la mayoría de los ambientes terrestres y en ciertos ecosistemas acuáticos a nivel global; desempeñan un papel esencial tanto en la salud de las plantas individuales como en el equilibrio de los ecosistemas (Öpik y Davison, 2016). Este grupo de organismos del suelo en simbiosis obligada es un componente ubicuo y funcionalmente crítico de los ecosistemas terrestres (Stürmer *et al.*, 2018). Diversos estudios han demostrado su efectividad para mejorar la calidad del suelo, crecimiento, nutrición y calidad de las plantas (Medina y Azcón, 2010; Ajeesh *et al.*, 2017; Rodrigues *et al.*, 2018; Falcón *et al.*, 2021) protección contra plagas (Vallejos *et al.*, 2021a; 2021b), capacidad para la recuperación de pastizales (Jenqui *et al.*, 2018), recuperación de suelos contaminados (Ramos, 2019) y en la restauración de áreas degradadas (Asmelash *et al.*, 2016).

En el Perú las investigaciones en HMA todavía son escasas y limitadas, más aún en el estudio de su diversidad. Asmelash *et al.*, (2016) sostiene que los mejores efectos de inoculación de HMA se obtienen cuando los inóculos están compuestos de hongos nativos en lugar de exóticos; por lo que es importante conocer nuestra diversidad para su protección y uso posterior. Por ejemplo en el departamento de San Martín se ha reportado cinco especies nuevas para el filo Glomeromycotina encontradas en agroecosistemas de sacha inchi (Corazón, *et al.*, 2019a; 2019b, 2019c, 2020) y una especie nueva en café (Corazón *et al.*, 2022), lo que refleja un gran potencial para su estudio y posterior uso en la agricultura y agroforestería que permita fortalecer programas de recuperación de áreas degradadas y restauración con especies forestales nativas.

Swietenia macrophylla G. King es una especie maderable “considerada por muchos como la mejor madera para la ebanistería a nivel mundial” (Guillén, 2014), “es una especie que se encuentra amenazada y que en el año 2003 fue incluida en el Apéndice II de la Convención Internacional para el Comercio de Especies Amenazadas (CITES)”, desde entonces se ha propiciado el conocimiento de las políticas públicas relacionadas con la conservación de la caoba (Lombardi *et al.*, 2003). *Swietenia macrophylla* G. King desarrolla simbiosis con HMA y permiten mejorar el crecimiento de plántulas (Reyes, 2011; Satyabrata y Santhoshkumar, 2020), sin embargo no existen estudios de la diversidad nativa en Perú asociadas a plantas cultivadas de *S. macrophylla* G. King en Perú.

En tal sentido el presente estudio planteó como objetivo identificar la diversidad de morfoespecies de HMA asociadas a *S. macrophylla* G. King, en plantas cultivadas, así como el número de esporas y el porcentaje de colonización considerando las variables biométricas de las plantas evaluadas en cinco zonas de muestreo de la Amazonía del Perú.

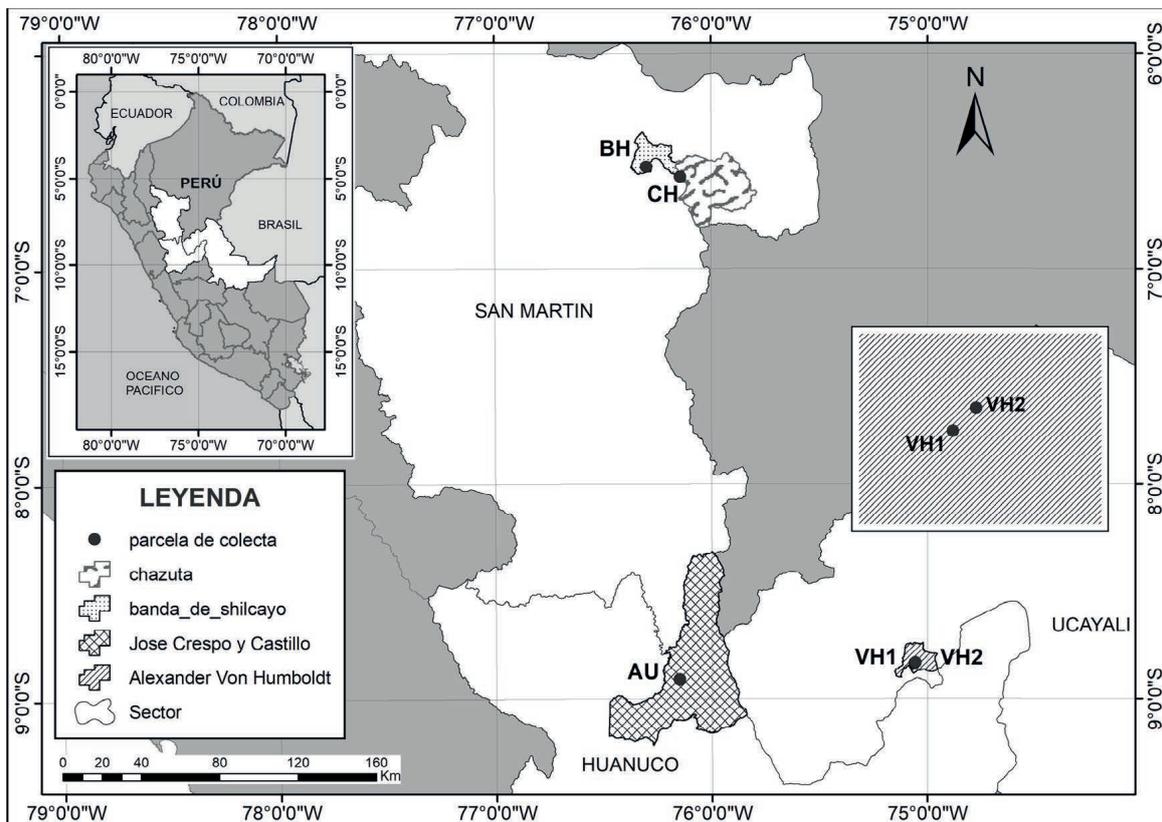


Fig. 1. Ubicación de zonas de muestreo en Perú en los departamentos de San Martín, Huanuco y Ucayali con las localidades de investigación [Chazuta (CH), Bello Horizonte (BH), Aucayacu (AU), y Von Humboldt (VH1 y VH2)].

Fig. 1. Geographic locations of the sampling areas in Peru, within the departments of San Martín, Huanuco and Ucayali, indicating the research localities [Chazuta (CH), Bello Horizonte (BH), Aucayacu (AU), and Von Humboldt (VH1 and VH2)].

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Cinco parcelas de *S. macrophylla* G. King se seleccionaron en los departamentos de San Martín, Ucayali y Huánuco (Fig. 1). Los sitios estudiados fueron: Chazuta (CH), Bello Horizonte (BH), Aucayacu (AU), y Von Humboldt (VH1 y VH2) (Tabla 1). El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], (2021) menciona que, las zonas de muestreo CH y BH son de clima lluvioso, con humedad abundante todas las estaciones del año; cuyas fluctuaciones térmicas van de 20°C a 32°C durante el año; con precipitación anual de 1502 mm. La zona AU presenta un clima de tipo muy lluvioso, cálido y con humedad abundante todas las estaciones del año, presenta precipitación anual de 2848 mm, temperatura máxima de 30°C y mínima de 19°C (SENAMHI, 2021). Las zonas de muestreo VH1 y VH2 presentan un clima de tipo lluvioso, cálido y con humedad abundante todas las estaciones del año.

Tabla 1. Descripción de los sitios muestreados; altura de localidad y año de establecimiento de la plantación de *Swietenia macrophylla*.

Table 1. Description of the sampling sites, altitude, and year of establishment of the *Swietenia macrophylla* plantation.

Código	Departamento	Localidad	Altitud (msnm)	Año de instalación
AU	Huánuco	Aucayacu	591	2005
BH	San Martín	Bello Horizonte	332	2017
CH	San Martín	Chazuta	262	2017
VH1	Ucayali	Alexander Von Humboldt	247	2008
VH2	Ucayali	Alexander Von Humboldt	236	2002

La temperatura máxima va entre 30°C, en verano y otoño y 32°C, en primavera; y la temperatura mínima, entre 20°C, en los meses de invierno, y 21°C, en primavera y verano. La precipitación anual es de 4283 mm.

Las parcelas de Chazuta y Bello Horizonte correspondían a parcelas experimentales conducidas por la dirección regional de San Martín del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) establecidas en predios de agricultores bajo un diseño de sistema agroforestal. La zona de muestreo CHA presentó asociaciones de *S. macrophylla* G.King (caoba) con *Theobroma cacao* L. (cacao), *Simarouba amara* Aubl. (marupa), *Azadirachta indica* A.Juss. (nim) y *Jatropha curcas* L. (piñón lanco). La zona de muestreo BH presentó asociación de *S. macrophylla* G.King con *T. cacao* L., *A. indica* A.Juss. y *J. curcas* L. La parcela de Aucayacu correspondía a un predio privado conducido bajo un sistema agroforestal de *S. macrophylla* G.King con *T. cacao* L. y presencia de cobertura nativa no identificada. El historial de la parcela fue caña braval-purma de cetico-cacao con plátano, asociado en los primeros años con maíz-frejol-tomate. El abonamiento se realizaba tres veces por año empleando compost Tropimax, roca fosfórica, guano de isla, urea y sulfato de potasio.

Las parcelas de Von Humboldt corresponden a ensayos experimentales del Instituto Nacional de Innovación Agraria, donde la parcela VH1 correspondía a un sistema de plantación mixta a campo abierto, establecido en octubre de 2008, suelo gleysol, plano, con drenaje deficiente, con cobertura de *Centrosema macrocarpum* Benth., establecido en el 2° año de plantación. Asimismo, la parcela VH2 se estableció el 2002, como un sistema agroforestal de cacao y arroz con especies forestales en línea. Su cobertura inicial fue de "mucuna", la cual fue reemplazada posteriormente por *Centrosema macrocarpum* Benth., esta parcela corresponde a un suelo inceptisol, fisiografía colinosa y buen drenaje. Al momento del muestreo, solo se observaba el componente de cacao y las especies forestales.

Tabla 2. Altura, diámetro y proyección de copa de plantas de *Swietenia macrophylla*, en los sitios de muestreo. DAP: Diámetro a la altura de pecho. Media + error estándar de 15 plantas.

Table 2. Height, diameter and crown diameter of *Swietenia macrophylla* in the sampling sites. DAP: Diameter at breast height. Mean + standard error of 15 plants.

Código	Altura (m)	Diámetro basal (cm)	DAP (cm)	Proyección de copa (m)
AU	21,70 + 0,91		32,36 + 2,21	4,62 + 0,14
BH	1,33 + 0,06	3,87 + 0,13		0,53 + 3,28
CH	1,45 + 0,09	3,41 + 0,21		0,58 + 3,54
VH1	8,51 + 0,49		9,32 + 0,71	1,90 + 0,11
VH2	12,25 + 0,73		15,83 + 0,83	2,55 + 0,19

Muestreo

El muestreo se realizó entre abril y mayo del 2018, correspondiente a la estación de otoño. En cada sitio se seleccionaron quince plantas de *S. macrophylla* G.King, (Tabla 2), de las cuales se seleccionaron ocho plantas para el muestreo de raíces.

El muestreo de suelo consistió en extraer cuatro submuestras de cada planta, siguiendo la dirección de los puntos cardinales, cada uno distanciados del tronco a la mitad de la proyección de la copa, a una profundidad de 20 cm. Las muestras se obtuvieron con un muestreador de suelo.

El muestreo de raíces se realizó siguiendo las direcciones de las raíces de la planta de caoba (*S. macrophylla* G.King), con el objeto de ubicar raicillas de máximo 1 mm de espesor hasta contar con 30 segmentos de 1 cm por planta. Las raíces fueron conservadas en alcohol al 50% hasta su evaluación.

Análisis de suelo

Por cada parcela, las sub muestras de suelo de las 15 plantas se homogenizaron extrayendo 1 kg de muestra compuesta por sitio, para el análisis fisicoquímico. Para cada muestra se midieron las siguientes variables: potencial de hidrógeno (pH) en agua, materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) total, clase textural (Tabla 3), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes cambiabiles (Tabla 4).

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del suelo en sitios de muestreo.**Table 3.** Physicochemical soil properties in the sampling sites.

Zona de muestreo	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Textura
AU	5,61	1,93	0,11	9,7	92	Franco
BH	4,90	1,25	0,10	4,2	52	Franco arenoso
CH	6,03	3,00	0,22	9,2	223	Arcilloso
VH1	4,73	2,55	0,12	2,5	90	Franco arcilloso
VH2	4,91	1,90	0,10	2,6	94	Franco arcilloso

Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina. 2018. pH: potencial de hidrógeno en agua; M.O: materia orgánica. N, P, K: nitrógeno, fósforo y potasio totales.

Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis Laboratory of the National Agrarian University of La Molina. 2018. pH: potential of hydrogen in water; O.M: organic matter. N, P, K: total nitrogen, phosphorus, and potassium. Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina. 2018. pH: potencial de hidrógeno en agua; M.O: materia orgánica. N, P, K: nitrógeno, fósforo y potasio totales.

Tabla 4. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes cambiabiles de suelos en los sitios muestreados.**Table 4.** Cation-exchange capacity (CIC) and exchangeable cations of soils in the sampling sites.

Zona de muestreo	CIC (meq/100g)	Cationes cambiabiles (meq/100g)				
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺
AU	11,52	7,54	1,57	0,16	0,06	0,10
BH	6,40	3,13	0,63	0,12	0,10	0,10
CH	28,00	23,90	3,55	0,42	0,13	0,00
VH1	19,20	7,81	1,93	0,18	0,09	1,35
VH2	17,60	9,76	2,55	0,17	0,07	0,55

Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina. 2018. CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis Laboratory of the National Agrarian University of La Molina. 2018. CIC: Cation exchange capacity.

Evaluación de esporas

Las esporas se extrajeron de la homogenización de las cuatro sub muestras tomadas de cada una de las 15 plantas, para lo cual se tamizó en una malla de 4mm de espesor. Se evaluaron 3 repeticiones de 20 g (balanza marca OHAUS, modelo Adventurer Pro AV3102) por cada muestra compuesta a través del método de Sánchez *et al.* (2010) que consistió en el tamizado y decantado por vía húmeda de los propágulos del hongo, los que se recolectaron sobre tamices de 250 y 45 μm de apertura y se separaron por centrifugación (centrífuga: marca Hettich, modelo Rotina 420 R) despues de establecer dos gradientes en los tubos de centrifugación: en el fondo una solución de azúcar de 70% sobre el tamizado con algo de agua. Por la centrifugación, las esporas se concentran en la superficie de la solución de azúcar. Las esporas se sacaron de la superficie del gradiente de azúcar con una jeringa, se pasaron a un tamiz de 45 micro de apertura para lavarlas con agua. Luego se pasaron las esporas con algo de agua a una caja de Petri en donde se realizó el conteo utilizando para guiar una red de líneas en el fondo fuera de la caja de Petri.

Se utilizó un estereomicroscopio a 45x de aumento (estereoscopio Trinocular, marca Olympus, modelo SZ61) para identificar las esporas. Para el cálculo del número de esporas por 100 g de suelo seco se secaron 20 g de suelo de cada una de las 15 muestras aplicando la siguiente fórmula de Sánchez *et al.* (2010):

$$N^{\circ} \text{ esporas} = \frac{\text{Esporas contadas}}{\text{Peso muestra}} \times \frac{P_i}{P_f} \times 100$$

Donde:

Peso muestra = peso de la muestra de donde se extraen las esporas,

P_i = peso inicial de la muestra usada para determinar humedad,

P_f = peso final de la muestra usada para determinar humedad.

Evaluación de porcentaje de colonización

Se seleccionaron al azar 30 segmentos de 1 cm de raíces de *S. macrophylla* G. King de cada uno de los árboles muestreados, las cuales fueron colocados en tubos de ensayo debidamente rotulados, se siguió el método descrito por (Lugo *et al.*, 2018; Rodríguez *et al.*, 2015) que consistió en el aclarado de las raíces con KOH al 10% por 6 horas, realizando recambio de KOH antes del ingreso al baño maría (marca: Gemmyco, modelo: YCW-010E) donde se calentaron por 30 minutos a temperatura de 90°C. Posteriormente se eliminó el KOH y se agregó agua oxigenada diluida al 6%, por 30 minutos, culminado el tiempo se enjuago tres veces con agua. Para el teñido de raíces se agregó una solución conteniendo colorante de tinta Parker 5% y se llevó a baño maría por 1 min a 90°, culminado este proceso se descartó el tinte y se enjuago con agua por tres veces, luego se agregó la solución de lactoglicerol para eliminar el exceso de tinta y se dejó por 7 horas. Las raíces teñidas se distribuyeron en placas Petri, luego se realizó el montaje en láminas portaobjetos previamente rotulados en 10 segmentos de 1 cm y se añadió lactoglicerol, se cubrió las raíces con láminas cubreobjetos y se selló con esmalte transparente.

La determinación del porcentaje de colonización se realizó según la metodología de Ruiz y Rojas (2011). El porcentaje de colonización fúngica se contabilizó como porcentaje de densidad visual de colonización de raíces como descrito por anteriores autores. Las fotografías de estructuras de HMA encontradas en raíces se tomaron con la cámara Zeiss AxioCam ERc 5S.

Identificación de especies HMA

Para la identificación de morfoespecies de HMA se separaron esporas de 25 g de muestra de suelo como se describió arriba, una muestra compuesta de cada sitio. Las esporas se colectaron primero en una caja de Petri con agua y de esta se transfirieron los consorcios de morfotipos de esporas a láminas portaobjeto para microscopio con dos gotas de agua con ayuda de una pipeta. Después de la evaporación del agua se colocó una mezcla de alcohol polifenilico con ácido láctico (Koske y Tessier, 1983) y se taparon con cubre objeto y se dejaron secar. De estas láminas permanentes se observaron los morfotipos de HMA en un microscopio “Leitz Laborlux 8” a 100x y 400x de aumento y se tomaron fotos de esporas representativas con una cámara Nikon Coolpix 4500”, fijada al microscopio. La identificación se hizo considerando la formación típica de las esporas, las estructuras de sus paredes y de las conexiones hifales. La organización taxonómica a nivel de género fue según Wijayawardene *et al.* (2022). A nivel de morfo-especies se siguió los trabajos de Oehl *et al.* (2011), Błaszowski (2012) y las descripciones posteriores de especies nuevas de hongos HMA (vease Dr. Janusz Błaszowski: https://zor.zut.edu.pl/Glomeromycota_2/Home.html). Las placas de microscopía se encuentran en la colección privada del Dr. Ewald Sieverding, en Alemania. La colección de las placas tienen los números 6372 hasta 6376 para el sitio Bello Horizonte (BH), 6377 hasta 6378 para Aucayacu (AU), 6379 hasta 6381 para Chazuta (CH), 6382 hasta 6386 para Von Humboldt 1 (VH 1) y 6387 hasta 6393 para Von Humboldt 2 ((VH 2). Notas de cada placa se encuentran en su Libro de Laboratorio “Mykorrhiza Nr. 7”, páginas 148-156.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software R versión 4.3.2 (R Core Team, 2023). Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis del paquete agricolae (Versión 1.3-7), para comparar las diferencias entre las cinco zonas de muestreo (AU, BH, CH, VH1 y VH2) y efectuar las comparaciones post hoc, con un nivel de significación global de $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS

Identificación y riqueza de especies de HMA

En este estudio se registraron un total de 35 morfoespecies de HMA, distribuidas en 12 géneros, 8 familias y 5 órdenes (Tabla 5 y 6). Siete morfo-especies se identificaron a nivel de género, dado que las esporas en estudio no se clasificaban con las descritas previamente, indicando un potencial de registro de nuevas especies. En las zonas de muestreo CH y AU se identificó una *Endogone* sp., no incluida en las tablas 5 ni 6, por ser un género que forma ect-endo-micorriza.

Tabla 5. Ocurrencia de especies (+) de Hongos Micorrizógenos Arbusculares en la rizósfera de *Swietenia macrophylla* en las diferentes localidades. Aquí las de los órdenes Archaeosporales y Diversisporales. Para abreviaciones de sitios véase Tabla 1.

Table 5. Occurrence of species (+) of Arbuscular Mycorrhizal Fungi species in the rhizosphere of established *Swietenia macrophylla* plants at the different sampling localities. Here those belonging to the Archaeosporales and Diversisporales orders. For sampling site abbreviations, see Table 1.

Orden / Familia / Especie	AU	BH	CH	VH1	VH2
ARCHAEOSPORALES					
Ambisporaceae					
<i>Ambispora reticulata</i>		+	+	+	+
<i>Ambispora</i> sp (no identificada amarilla de 70-80 um)	+				+
Archaeosporaceae					
<i>Archaeospora undulata</i>					+
<i>Archaeospora</i> sp.				+	
DIVERSISPORALES					
Acaulosporaceae					
<i>Acaulospora cavernata</i>		+			
<i>Acaulospora kentinensis</i>	+	+			
<i>Acaulospora lacunosa</i>		+			
<i>Acaulospora longula</i>		+	+	+	
<i>Acaulospora mellea</i>				+	+
<i>Acaulospora morrowiae</i>	+	+		+	
<i>Acaulospora rugosa</i>			+		
<i>Acaulospora scrobiculata</i>			+	+	+
<i>Acaulospora tuberculata</i>		+			
<i>Acaulospora</i> sp. (no conocida con depresiones regulares y espinas)			+		
<i>Acaulospora</i> sp. (no conocida espora alargada morena)				+	+
<i>Acaulospora</i> sp (no conocida espora oblonga amarilla con pared fina)			+		
<i>Kuklospora colombiana</i>				+	
Diversisporaceae					
<i>Diversispora epigaea</i>		+			
<i>Diversispora spurca</i>			+		
Pacisporaceae					
<i>Pacispora scintillans</i>			+		

Morfoespecies identificadas por Ewald Sieverding.

Morphospecies identified by Ewald Sieverding.

Ambispora reticulata fue la especie más ubicua, encontrándose en cuatro zonas de muestreo; además *Acaulospora longula*, *A. morrowiae*, *A. scrobiculata*, *Glomus ambisporum*, *G. heterosporum*, *Rhizoglozum fasciculatum* y *Paraglozum occultum* se encontraron en tres zonas de muestreo. Diecinueve especies se encontraron exclusivas en una de cada localidad muestreada. Las zonas de muestreo CH y VH1 presentaron mayor riqueza de morfoespecies (Tabla 7).

Los géneros con más altos números de especies fueron *Acaulospora* y *Glomus*, con 12 y 7 morfoespecies respectivamente (Fig. 2). El género *Acaulospora*, presentó mayor número de especies, en las zonas de muestreo, con plantas de menor tiempo de establecimiento: BH, CH y VH1 (Tabla 5).

Tabla 6. Ocurrencia de especies (+) de Hongos Micorrhizógenos Arbusculares en la rizósfera de plantas establecidas de *Swietenia macrophylla* en las diferentes localidades. Aquí las de los órdenes Entrophosporales, Glomerales y Paraglomerales. Para abreviaciones de sitios de muestreo vease Tabla 1.

Table 6. Occurrence of species (+) of Arbuscular Mycorrhizal Fungi species in the rhizosphere of established *Swietenia macrophylla* plants at the different sampling localities. Here those belonging to the Entrophosporales, Glomerales and Paraglomerales. For sampling site abbreviations, see Table 1.

Orden / Familia / Especie	AU	BH	CH	VH1	VH2
ENTROPHOSPORALES					
Entrophosporaceae					
<i>Entrophospora etunicata</i>			+	+	
GLOMERALES					
Glomeraceae					
<i>Dominikia aurea</i>			+		
<i>Glomus ambisporum</i>		+	+	+	
<i>Glomus brohultii</i>		+	+		
<i>Glomus heterosporum</i>		+	+	+	
<i>Glomus macrocarpum</i>			+		
<i>Glomus</i> sp. (no identificada espora hialina de 60 um)		+			
<i>Glomus</i> sp. (no identificada con pared gruesa y espinas)	+				
<i>Glomus</i> sp. (no identificada similar a <i>Oehlia diaphana</i>)				+	
<i>Oehlia diaphana</i>			+		
<i>Rhizoglomus fasciculatum</i>		+	+	+	
<i>Rhizoglomus irregulare</i>	+			+	
<i>Sclerocystis clavispora</i>					+
<i>Sclerocystis coremioides</i>				+	+
PARAGLOMERALES					
Paraglomeraceae					
<i>Paraglomus occultum</i>		+		+	+

Morfoespecies identificadas por Ewald Sieverding.

Morphospecies identified by Ewald Sieverding.

Tabla 7. Número de especies de HMA de cada familia de HMA en los diferentes sitios de muestreo. Para abreviaciones de sitios véase Tabla 1.

Table 7. Number of AMF species found from each AMF family in the different sampling sites. For site abbreviations, see Table 1.

Familias	AU	BH	CH	VH1	VH2
Ambisporaceae	1	1	1	1	2
Archaeosporaceae	0	0	0	1	1
Acaulosporaceae	2	6	5	6	3
Diversisporaceae	0	1	1	0	0
Pacisporaceae	0	0	1	0	0
Entrophosporaceae	0	0	1	1	0
Glomeraceae	2	5	7	6	2
Paraglomeraceae	0	1	0	1	1
Riqueza de especies	5	14	16	16	9

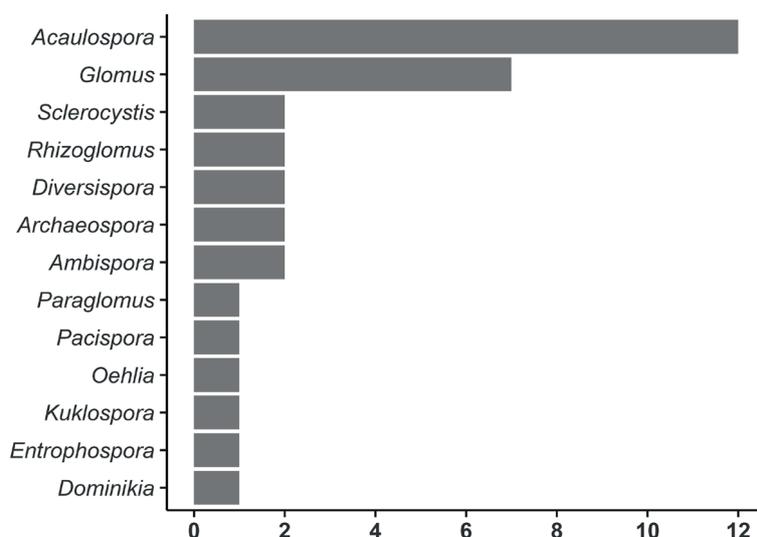


Fig. 2. Riqueza de morfoespecies de HMA en los géneros de Glomeromycotina en el área de estudio (N° especies/género).

Fig. 2. Richness of AMF morphospecies in the genera of Glomeromycotina in the study area (N° of species/genus).

Las familias Acaulosporaceae y Glomeraceae, presentaron la mayor riqueza de morfoespecies, con 13 por cada una, seguido por las familias Ambisporaceae, Archeosporaceae y Diversisporaceae con 2 morfoespecies respectivamente, mientras que las familias Entrophosporaceae y Pacisporaceae tuvieron menor registro con una morfoespecie (Tabla 5 y 6).

Número de esporas

El número de esporas se encontró en un rango de 100 a 2900 esporas en 100 g de suelo seco. La prueba de Kruskal y Wallis detectó diferencias significativas ($p < 0,01$) en relación con las zonas de muestreo (Fig. 3). La comparación post hoc de rangos indicó la formación de tres grupos, observándose mayor número de esporas en las zonas de muestreo BH, CH y VH1 con plantas de 1 a 10 años de establecidas comparativamente con las zonas de muestreo VH2 y AU con plantas de 13 y 16 años de establecidas.

Porcentaje de colonización

El porcentaje de colonización en *S. macrophylla* G. King en las zonas de muestreo presentó una media de 42%. La prueba de Kruskal y Wallis no detectó diferencias significativas ($p = 0,36$) para esta variable entre zonas de muestreo.

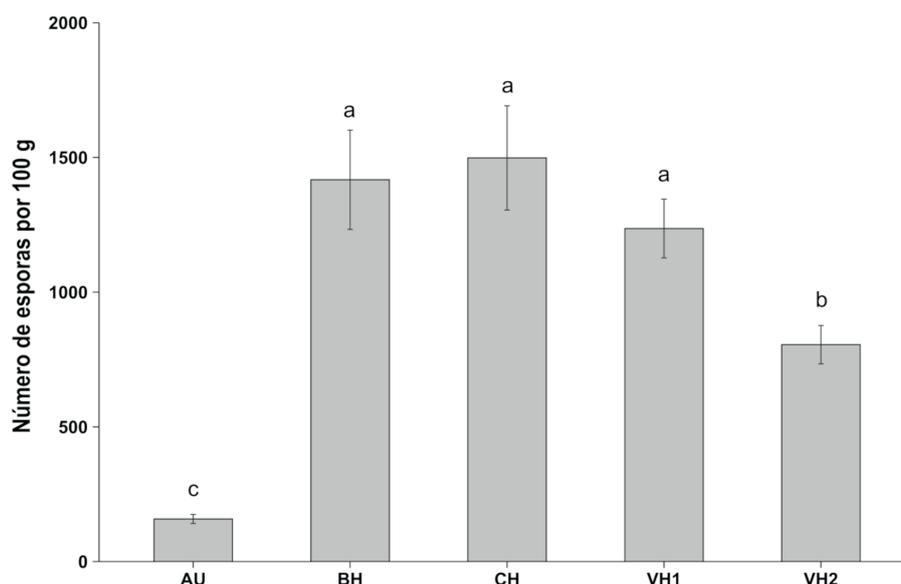


Fig. 3. Numero promedio de esporas de HMA en 100 g de suelo seco en las localidades de muestreo (medio número + error estándar). Para abreviaciones de localidades véase Fig. 1. Barras con letras distintas muestran diferencias estadísticas a $p < 0,01$.

Fig. 3. Mean number AMF spores per 100 g of dry soil in the sampling localities (mean + standard error). For locality abbreviations of locations see Fig. 1. Bars with different letters indicate statistical differences $p < 0,01$.

DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación incrementan la información de la diversidad de HMA en la Amazonía peruana. En este trabajo se reporta 35 morfoespecies distribuidas en 12 géneros, a partir de cinco zonas de muestreo (Tabla 5 y 6), este valor es mayor a los registrados en México y China (Shi *et al.*, 2006; Rodríguez-Morelos *et al.*, 2014), evidenciando un gran potencial de registro de nuevas especies en Perú, que podría contribuir a ampliar al conocimiento del phylum Glomeromycotina. De las morfoespecies presentadas en este trabajo *A. scrobiculata*, se reporta en tres zonas de muestreo, es una especie ubicua, dado que ha sido detectada en siete continentes (Stürmer *et al.*, 2018). Se encontró mayor riqueza de morfoespecies en zonas de muestreo CH y VH1, donde el porcentaje de materia orgánica fue mayor, pudiendo ser uno de los factores que explica, la mayor riqueza de morfoespecies en estas zonas. Shao *et al.* (2024) encontraron correlaciones significativas, entre la diversidad y abundancia de las comunidades de HMA con la materia orgánica del suelo en China.

A nivel de géneros *Acaulospora* y *Glomus* fueron los géneros más predominantes en número de especies HMA, resultados similares se reportan en el Neotrópico, México, Cuba y China (Araújo *et al.*, 2019; Pontes *et al.*, 2017; Stürmer *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019).

El género *Acaulospora* reportó mayor número de especies, en las zonas de muestreo con plantas de menor tiempo de establecimiento, resultados similares fueron encontrados en hábitat natural de *S. macrophylla* G. King (Rodríguez-Morelos et al., 2014), probablemente porque especies de este género se reproducen rápido bajo condiciones tropicales con altas temperaturas y lluvias. Acaulosporaceae y Glomeraceae se reportan como más predominantes en la zona tropical de América del Sur (Cofré et al., 2019).

El número promedio de esporas registrado alrededor del hospedante *S. macrophylla* G. King fue de 1023 por 100 g de suelo seco, mayor a lo reportado en bosques naturales y plantados en tres diferentes altitudes en China (Shi et al., 2006), en un bosque natural de la India (Dhar y Mridha, 2006) y en plantas establecidas de cinco años de edad en Manaos (Hara et al., 2021). En este trabajo encontramos mayor número de esporas en las zonas de muestreo CH, BH y VH1 con plantas jóvenes, comparado con las zonas de muestreo AU y VH2 con plantas adultas, estos resultados fueron contrarios a los encontrados por Rodríguez-Morelos et al. (2014). Se debe considerar también que la formación de esporas también depende de las condiciones edáficas de los suelos, aún en este estudio no se encontraron correlaciones expresas entre características del suelo y números de esporas. Un menor número de esporas en la zona de muestreo AU probablemente se deba a un menor grado de estrés en las plantas de *S. macrophylla* G. King bajo el sistema agroforestal. Este resultado concuerda con lo reportado por Araújo et al. (2019), quienes encontraron una menor cantidad de esporas en un bosque nativo, sugiriendo que los bajos valores se asocian con la estabilidad de los ecosistemas naturales. Adicionalmente, es posible que tanto la altitud como el mes de colecta hayan influido en la menor cantidad de propágulos en esta zona. Ramírez-Gómez et al. (2019), encontraron una correlación negativa entre el número de esporas y la altitud durante la época de lluvias, observando una menor cantidad de esporas a mayor altitud en este periodo.

Se requiere investigación adicional para comprender este resultado de porque haya tanta diferencia en la producción de esporas entre sitios. Pontes et al. (2017) señalan que algunas especies de HMA pueden producir una gran cantidad de esporas, mientras que otras generan pocas, incluso con una biomasa micelial similar. Así, en este estudio en los sitios AU y VH2 con menor número de esporas, hubo menos especies del género *Glomus* que es conocido de producir altos números de esporas; también se sabe que con más edad de cultivación hay una sucesión en la ocurrencia en géneros y especies de HMA que puede tener efectos sobre la esporulación (Oehl et al. 2009). Esta variabilidad puede depender de diversos factores, como las estrategias de vida de las especies, las características del entorno del suelo, los socios simbióticos, así como la humedad y las fluctuaciones de temperatura a lo largo de diferentes años.

En cuanto a la colonización en las raíces de *S. macrophylla* G. King, se observó colonización por estructuras de hongos micorrízicos (hifas, arbusculos y vesículas) con un promedio de 42%, sin diferencias entre plantas jóvenes o de mayor edad, ni dependiendo de las características de suelos. El grado de colonización de raíces con HMA es superior a los encontrados en China (Shi *et al.*, 2006), pero menores a los encontrados en Manaos (Hara *et al.*, 2021). Nuestros resultados pueden indicar que *S. macrophylla* G. King es una especie de árbol que se asocia rápido con diferentes especies nativas de HMA independiente de los géneros o familias de HMA.

CONCLUSIONES

Este estudio proporciona el primer reporte de morfoespecies de HMA en plantas cultivadas de *S. macrophylla* en la Amazonia de Perú, información que permitirá incrementar el reporte de morfoespecies de HMA en Perú y contribuir al entendimiento de la distribución de estos microorganismos, su uso potencial y conservación. Es importante destacar que aparentemente la colonización de raíces en plantas jóvenes es rápida y que resulta en rápida reproducción de esporas de HMA. Además, este estudio mostró una colonización estable durante el crecimiento de las plantas, desde el primer año hasta su etapa adulta. En este sentido, se debe investigar las ventajas que ofrece la inoculación de plantas en vivero, para incrementar la producción de biomasa en campo, o si fuera suficiente sembrar plantas sin inoculación de HMA. Para ello, se propone realizar ensayos en diferentes suelos de la región, comparando estos dos sistemas.

AGRADECIMIENTOS

Al Sr. Rafael Troyas por su valioso apoyo brindado, durante el muestreo en su predio. A la Estación Experimental Alexander von Humboldt del Instituto Nacional de Innovación Agraria, por las facilidades brindadas para el muestreo, en sus parcelas experimentales. Al Ing. MSc. José Carlos Rojas García por sus orientaciones para el aclareo y tinción de raíces de caoba.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Se declara que los autores no presentan ningún conflicto de intereses relevante en este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ajeesh, R., Santhoshkumar, S., Gopal, S. y Binu, N. (2017). Screening of selected native arbuscular mycorrhizal fungi at different levels for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis* seedlings. *Journal Of Tropical Forest Science* 29 (4): 395-403. <https://doi.org/10.26525/jtfs2017.29.4.395403>
- Araújo, T. M., Silva, K. D., Pereira, G. M. D., Curcino, A., Stürmer, S. L. y Gomide, P. H. O. (2019). Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agroforestry, Conventional Plantations and Native Forests in Roraima State, Northern Brazil. *Journal of Agricultural Science* 11 (14): 282. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n14p282>
- Asmelash, F., Bekele, T. Birhane, E. (2016). The Potential Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Restoration of Degraded Lands. *Frontiers in Microbiology* 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01095>
- Błaszowski, J. (2012) *Glomeromycota*. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- Brundrett, M. C. y Tedersoo, L. (2018). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist* 220 (4): 1108-1115. <https://doi.org/10.1111/nph.14976>
- Cofré, M. N., Soteras, F., Del Rosario Iglesias, M., Velázquez, S., Abarca, C., Risio, L., Ontivero, E., Cabello, M. N., Domínguez, L. S. y Lugo, M. A. (2019). Biodiversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in South America: A Review. En M.C. Pagano y M.A. Lugo (Eds.), *Mycorrhizal Fungi in South America* (pp. 49-72). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15228-4_3
- Corazón, M., Cerna, A., Guerrero, J., Vallejos, A., Alves, G. A. y Oehl, F. (2019a). *Acaulospora aspera*, a new fungal species in the Glomeromycetes from rhizosphere soils of the inka nut (*Plukenetia volubilis* L.) in Peru. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 92. <https://doi.org/10.5073/jabfq.2019.092.035>
- Corazón, M., Cerna, A., Guerrero, J., Vallejos, A., Carballar, da Silva, G. A. y Oehl, F. (2019b). *Nanoglomus plukenetiae*, a new fungus from Peru, and a key to small-spored Glomeraceae species, including three new genera in the “Dominikia complex/clades”. *Mycological Progress* 18 (12): 1395-1409. <https://doi.org/10.1007/s11557-019-01522-1>
- Corazón, M., Cerna, A., Guerrero, J., Vallejos, A., Carballar, S., da Silva, G. A. y Oehl, F. (2019c). *Microkamienskia* gen. Nov. And *Microkamienskia peruviana*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from Western Amazonia. *Nova Hedwigia* 109: 355-368. https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2019/0551
- Corazón, M., Cerna, A., Guerrero, J., Vallejos, A., Ríos, O., Vallejos, G., De la Sota Ricaldi, A. M., Monique, V., Alves, G. y Fritz Oehl. (2020). *Paraglomus occidentale*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from the sources of the Amazon river in Peru, with a key to the Paraglo-

- romycetes species. *Sydowia* 72: 85-94. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia72-2020-0085>
- Corazón, M., Vallejos, A., De la Sota, A., Vallejos, G., Ruíz, M., Monique, V., Alves, G. y Fritz, O. (2022). *Acaulospora flavopapillosa*, a new fungus in the Glomeromycetes from a coffee plantation in Peru, with an updated key for the identification of Acaulosporaceae species. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 95. <https://doi.org/10.5073/jabfq.2022.095.002>
- Dhar, P. P. y Mridha, M. A. U. (2006). Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in different trees of madhupur forest, Bangladesh. *Journal of Forestry Research* 17 (3): 201-205. <https://doi.org/10.1007/s11676-006-0047-8>
- Falcón, E., Cobas, M., Bonilla, M., Rodríguez, O., Romero, C. V. y Rodríguez, E. (2021). Calidad de plántulas de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. Producida en sustratos inoculados con hongo micorrízico arbuscular. *Revista de Ciencias Ambientales* 55 (2): 311-225. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.15>
- Guillén, R. (2014). Estimación del volumen de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) usando ecuaciones de ahusamiento para el departamento de Madre de Dios. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales. Lima, Perú.
- Hara, F. A., Silva, A. C., Moreira, F. W., Vendruscolo, J., Souza, L. C. y Oliveira, L. A. (2021). Ocorrência de fungos micorrízicos em pau-rosa (*Aniba duckei* kosterm) e mogno (*Swietenia macrophylla* king) em diferentes épocas de coleta na região de Manaus. *Research, Society and Development* 10 (4): e25010413666. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13666>
- Jenqui, P., Gonzáles, P., Ramírez, J. y Batista, J. A. (2018). Efecto de la inoculación micorrízica arbuscular en la rehabilitación de un pastizal cultivado de guinea (*Megathyrsus maximus* cv. *Likoni*). *Cultivos Tropicales* 38 (4): 30-38. <https://doi.org/10.1234/ct.v38i4.1400>
- Koske, R. E. y Tessier, B. (1983). A convenient, permanent slide mounting medium. *Mycological Society of America Newsletter* 34: 59.
- Lombardi, I., Barrena, V., Huerta, P. y Gárnica, C. (2003). Propuesta para la recuperación de las poblaciones de Caoba (*Swietenia macrophylla* King) en el Perú Estrategia Nacional. Recuperado de https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2525/technical/Propuesta%20para%20la%20recuperacion%20de%20las%20poblaciones%20de%20caoba%20en%20el%20Peru.pdf?v=1709403524
- Lugo, M., Iriarte, H., Crespo, E., Torres, L., Ontivero, E., Risio, L., Menoyo, E. y Balleteros, S. (2018). Manual de Metodologías para el trabajo con hongos y sus simbiosis. <https://www.researchgate.net/publication/329809810>
- Medina, A. y Azcón, R. (2010). Effectiveness of the application of arbuscular mycorrhiza fungi and organic amendments to improve soil quality and plant performance under stress conditions. *Journal of*

- Soil Science and Plant Nutrition* 10 (3). <https://doi.org/10.4067/S0718-95162010000100009>
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Wiemken, A. y Boller, T. (2009). Distinct sporulation dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal communities from different agroecosystems in long-term microcosms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 134: 257-268.
- Oehl F., Sieverding E., Palenzuela J., Ineichen K., da Silva G.A. (2011) Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus* 2: 191-199.
- Öpik, M. y Davison, J. (2016). Uniting species- and community-oriented approaches to understand arbuscular mycorrhizal fungal diversity. *Fungal Ecology* 24: 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2016.07.005>
- Pontes, J. S., Oehl, F., Marinho, F., Coyne, D., Silva, D. K. A. D., Yano-Melo, A. M. y Maia, L. C. (2017). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil's Caatinga and experimental agroecosystems. *Biotropica* 49 (3): 413-427. <https://doi.org/10.1111/btp.12436>
- Ramírez-Gómez, M., Pérez-Moncada, U., Serralde-Ordoñez, D., Peñaranda-Rolón, A., Roveda-Hoyos, G. y Rodríguez, A. (2019). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi communities associated with cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) crops. *Agronomía Colombiana* 37 (3): 239-254. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n3.74008>
- Ramos, A. L. (2019). Efectos de la asociación simbiótica entre *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S.S.M.) C. Walker & A. Schübler y fabáceas nativas en el tratamiento de suelos contaminados con petróleo. Trabajo de grado. Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería Agraria. Universidad Católica SEDE SANPENTAE.
- R Core Team. (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>
- Reyes, D. (2011). Evaluación del efecto inoculante de micorriza arbuscular nativa en el crecimiento de 3 especies forestales a nivel de vivero en Pucallpa (Tesis Pregrado), Universidad Nacional de Ucayali. Perú.
- Rodrigues, L. A., Barroso, D. G. y Figueiredo, F. A. M. M. D. A. (2018). Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* L. F. *Ciência Florestal* 28 (1): 25-34. <https://doi.org/10.5902/1980509831572>
- Rodríguez, Y., Arias, L., Mujica, Y., Medina, L., Kalyanne, F. y Aracely, M. (2015). Alternativa de la técnica de tinción para determinar la colonización micorrízica. *Cultivos Tropicales* 36 (2): 18-21. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10232.65287>
- Rodríguez-Morelos, V. H., Soto-Estrada, A., Pérez-Moreno, J., Franco-Ramírez, A. y Díaz-Rivera, P. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of seedlings and mature trees of *Swietenia macrophylla* (Magnoliophyta: Meliaceae) in Los Tuxtlas, Veracruz,

- Mexico. *Revista Chilena de Historia Natural* 87 (1): 9. <https://doi.org/10.1186/s40693-014-0009-z>
- Ruiz, P. y Rojas, K. (2011). Hongos de micorriza arbuscular. Protocolos y procedimientos de evaluación. Manual técnico. ASPERU. Perú.
- Sánchez, M., Posada, R., Velásquez, D. y Narvaez, M. (2010). Metodologías básicas para el trabajo con Micorriza Arbuscular y Hongos Formadores de Micorriza Arbuscular. <https://www.researchgate.net/publication/271507112>
- Satyabrata, N. y Santhoshkumar, A. (2020). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth of Mahogany (*Swietenia macrophylla* King.) Seedlings under Nursery Condition. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences* 8 (6): 124-129. <https://doi.org/10.18782/2582-2845.8241>
- SENAMHI. (2021). CLIMAS DEL PERÚ Mapa de Clasificación Climática Nacional. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- Shao L, Yan P, Ye S, Bai H, Zhang R, Shi G, Hu Y, Pang D, Niu X y Ni X (2024). Soil organic matter and water content affect the community characteristics of arbuscular mycorrhizal fungi in Helan mountain, an arid desert grassland area in China. *Frontiers in Microbiology* 15: 1377763. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1377763>
- Shi, Z. Y., Chen, Y. L., Feng, G., Liu, R. J., Christie, P. y Li, X. L. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the Meliaceae on Hainan island, China. *Mycorrhiza* 16 (2): 81-87. <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0017-6>
- Stürmer, S. L., Bever, J. D. y Morton, J. B. (2018). Biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota): A phylogenetic perspective on species distribution patterns. *Mycorrhiza* 28 (7): 587-603. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0864-6>
- Vallejos T. G., Saboya P. A. y Arevalo L. A. (2021a). Efecto Bioprotector de Micorrizas Arbusculares en la Reducción de Roya (*Hemileia vastatrix*) en la Región San Martín. *Revista Agrotecnológica Amazónica* 1 (1): 34-44. <https://doi.org/10.51252/raa.v1i1.122>
- Vallejos-Torres, G., Espinoza, E., Marín-Díaz, J., Solis, R. y Arévalo, L. A. (2021b). The Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Against Root-Knot Nematode Infections in Coffee Plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 21 (1): 364-373. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00366-z>
- Wang, J., Wang, G. G., Zhang, B., Yuan, Z., Fu, Z., Yuan, Y., Zhu, L., Ma, S. y Zhang, J. (2019). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Tree Species in a Planted Forest of Eastern China. *Forests* 10 (5): 424. <https://doi.org/10.3390/f10050424>
- Wijayawardene N. N., Hyde K. D., Dai D. Q., Sánchez-García M., et al. (2022) Outline of Fungi and fungus-like taxa-2021. *Mycosphere* 13: 53-453.