

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE ALTO AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS

**Escuela profesional de Ingeniería Agrónoma**



**TESIS**

Prospección de la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en especies forestales maderables en un bosque primario, del distrito de Yurimaguas

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

**PRESENTADO POR:**

Dayly Tarsila Rojas Tapullima.

(ORCID:0009-0006-6164-2703)

**ASESOR:**

Dr. Luis Alberto Arévalo López

(ORCID:0000-0002-6417-8161)

**Yurimaguas – Perú**

**2026**



## MDJ-02. DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Dr. Luis Alberto Arévalo López de la Facultad de Ingeniería, Programa de Estudios de Agronomía, de la Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas.

### DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Prospección de la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en especies forestales maderables en un bosque primario, del distrito de Yurimaguas", constituye la memoria que presenta la Bachiller Dayly Tarsila Rojas Tapullima para aspirar al título de Profesional en Ingeniería Agrónoma. Ha sido realizado en la Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Yurimaguas, a los 28 Días del mes de enero del año 2026.



Dr. Luis Alberto Arévalo López

Asesor

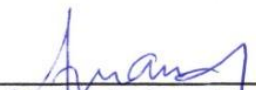
Prospección de la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en especies forestales maderables en un bosque primario, del distrito de Yurimaguas.


## **TESIS**


Presentada para optar el título profesional de Ingeniero agrónomo

### **JURADO CALIFICADOR**

  
PhD. Enrique Arévalo Gardini  
**Presidente**

  
Dr. Beto Pashanasi Amasifuen  
**Miembro**

  
Dr. Oscar Alejandro Tuesta  
Hidalgo  
**Miembro**

  
Dr. Luis Alberto Arévalo  
López  
**Asesor**

**Yurimaguas, 28 de enero del 2026**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE ALTO AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS**

**Escuela profesional de Ingeniería Agrónoma**

**TESIS**

**Prospección de la diversidad de hongos micorrízicos  
arbusculares en especies forestales maderables en un bosque  
primario, del distrito de Yurimaguas**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

**PRESENTADO POR:**

Dayly Tarsila Rojas Tapullima.

**ASESOR:**

Dr. Luis Alberto Arévalo López

**Yurimaguas – Perú**

**2026**

## **DEDICATORIA**

A mi persona por el esfuerzo y perseverancia,  
que a pesar de todas las trabas que se interpuso  
en el camino desde su planteamiento a ejecución  
siempre supe mirar el lado positivo de las cosas.

A mi queridísima mamá, Dayli Caroli Tapullima Tuanama  
Por guiarme desde mi niñez, que tenía que ser mejor persona,  
Gracias mamá por esa motivación que me diste desde niña  
ella fue mi mayor motivación, aunque  
ya no se encuentre en este mundo terrenal quería  
que desde lo más lejos se sintiera feliz al verme cumplir mi meta.

A mi querido padre Néstor Rojas Ampuero  
por su apoyo incondicional  
en cada proceso de mi formación,  
por su apoyo ético, moral y económico.

A mi hermano Ramiro,  
por su apoyo moral y económico durante  
ejecución del proyecto, del mismo modo,  
a mi hermano Reiter por su apoyo durante  
mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia, quiero agradecer al padre celestial por haberme dado vida, salud y sobre todo haberme dado fuerza y perseverancia durante el proceso de mi formación profesional para no rendirme y de esa manera poder lograr la meta esperada.

Asimismo, a mi alma mater. Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas, por abrirme la puerta y brindarme la oportunidad de avanzar en mi carrera profesional.

A mi asesor Dr. Luis Alberto Arévalo López, por el acompañamiento durante la ejecución del proyecto, por ayudar a buscar soluciones durante los inconvenientes que se presentaron.

Asimismo, al director Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) Pucallpa, Dr. Jorge Manuel Revilla Chávez por abrirme las puertas al laboratorio de HMA, así como también al Ing. Noe Ramírez Flores por capacitarme y enseñarme sobre la colonización de los HMA.

Al Ing. Tito Sánchez Santillán, de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas por enseñarme todo el procedimiento para el aislamiento de esporas micorrícica.

Asimismo, a la Dr. Marcela Arteaga Cuba, de la Universidad Nacional de Cajamarca, por brindarnos información y enseñar la identificación taxonómica de las esporas de los HMA.

Del mismo modo, a mis distinguidos jurados por su valioso tiempo de dedicación, guiarme con sus críticas constructivas y enseñanzas, sin la cual este camino no habría sido posible. PhD. Enrique Arévalo Gardine. Dr. Beto Pashanasi Amasifuén, Dr. Oscar Alejandro Tuesta Hidalgo, gracias por su paciencia.

A los pobladores de la comunidad de Jeberillos, por brindarme la confianza de explorar su bosque, mi agradecimiento sincero al agente Sr. Aquiles Pashanassi y Golder Lomas Pizango, al presidente de ronda señor Eder Taminchi, y Glever Lomas Pizango y a todas las personas que apoyaron para que esta investigación se haga realidad.

## RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) forman simbiosis con la mayoría de las plantas terrestres y contribuyen a la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y la estabilidad del suelo. En bosques tropicales, su diversidad es fundamental para el establecimiento y funcionamiento de las especies forestales. Este estudio evaluó la riqueza, diversidad ( $H'$ ), dominancia (D) y abundancia de esporas de HMA en la rizosfera de diez especies forestales maderables en un bosque primario del distrito de Yurimaguas. Las esporas fueron extraídas e identificadas morfológicamente a nivel de género. Se registraron dieciséis géneros de HMA, siendo *Glomus* el más abundante y dominante en la mayoría de las especies, seguido por *Funneliformis*, *Paraglomus* y *Acaulospora*. La riqueza de géneros y el índice de Shannon mostraron diferencias significativas entre especies, destacando Caoba, Cumala y Papelillo por presentar comunidades micorrízicas más diversas y equilibradas. Quillo bordón, Quinilla y Tornillo presentaron menor diversidad y mayor dominancia, reflejada en valores elevados del índice de Simpson. La abundancia total de esporas no mostró diferencias estadísticas significativas. Estos resultados resaltan la influencia de la identidad de la especie forestal y las condiciones edáficas locales en la organización de los HMA.

**Palabras clave:** Diversidad fúngica, colonización micorrízica, bosque tropical, Rizosfera, Yurimaguas.

## ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) form symbiotic relationships with most terrestrial plants and contribute to nutrient uptake, abiotic stress tolerance, and soil stability. In tropical forests, their diversity is fundamental for the establishment and functioning of forest species. This study evaluated the richness, diversity ( $H'$ ), dominance ( $D$ ), and spore abundance of AMF in the rhizosphere of ten timber species in a primary forest in the Yurimaguas district. The spores were extracted and morphologically identified to the genus level. Sixteen genera of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) were recorded, with *Glomus* being the most abundant and dominant in most species, followed by *Funneliformis*, *Paraglomus*, and *Acaulospora*. Genus richness and the Shannon index showed significant differences among species, with Mahogany, Cumala, and Papelillo standing out for having more diverse and balanced mycorrhizal communities. Quillo bordón, Quinilla and Tornillo exhibited lower diversity and greater dominance, reflected in high Simpson index values. Total spore abundance showed no statistically significant differences. These results highlight the influence of tree species identity and local soil conditions on the organization of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF).

**Keywords:** Fungal diversity, mycorrhizal colonization, rainforest, Rhizosphere, Yurimaguas.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales representan sistemas altamente complejos donde interactúan componentes bióticos y abióticos que sustentan la vida y mantienen la estabilidad ambiental. Dentro de esta complejidad, el suelo actúa como un reservorio dinámico de biodiversidad microbiana, desempeñando un rol fundamental en el funcionamiento ecológico. Entre los microorganismos del suelo, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) destacan por establecer asociaciones simbióticas con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres, facilitando la absorción de nutrientes esenciales y fortaleciendo la resistencia de las plantas frente a condiciones adversas.

En los últimos años, los estudios sobre HMA tuvieron gran relevancia debido a su papel en procesos ecológicos clave (ciclos del carbono, fósforo y nitrógeno). Estos procesos son cruciales para incrementar la productividad vegetal, mantener suelos sanos y mejorar su estructura física y química. La simbiosis micorrízica favorece particularmente la captación de fósforo (P), uno de los elementos más limitantes para el crecimiento vegetal, incrementando significativamente la biomasa y vitalidad de las plantas hospedantes.

Además de su función nutricional, los HMA contribuyen a la tolerancia de las plantas al estrés biótico, y ataque de plagas y enfermedades (Vallejos-Torres et al., 2019) y al estrés abiótico (sequía, salinidad o temperaturas extremas). Estos efectos se logran mediante mecanismos adaptativos morfológicos, bioquímicos y moleculares que fortalecen las defensas naturales de las plantas (Lenoir et al., 2016). Sin embargo, la diversidad y funcionalidad de estos hongos pueden verse afectadas por las características edáficas, el cambio climático y las prácticas de manejo agrícola o forestal.

En el contexto peruano, los bosques amazónicos constituyen ecosistemas de altísima biodiversidad y valor estratégico. Estos ecosistemas no solo albergan una vasta diversidad de flora y fauna, sino que también desempeñan funciones clave en la regulación climática, el almacenamiento de carbono la conservación del agua y del suelo, y el bienestar de numerosas comunidades rurales. De esta manera muchas especies vegetales han desarrollado asociaciones mutualistas con los HMA desde hace más de 400 millones de años, una simbiosis considerada esencial para la colonización de ambientes terrestres por las plantas.

La Amazonía peruana, reconocida por su alta diversidad vegetal, alberga muchas especies forestales maderables que establecen relaciones simbióticas con HMA. Estos hongos no solo potencian la absorción de agua y fósforo, sino que también participan activamente en la formación de agregados del suelo, promoviendo su estabilidad estructural y mejorando su capacidad de retención de agua y nutrientes.

En los últimos años, la región San Martín ha emergido como un referente nacional en la investigación y conservación de los HMA, destacándose por diversas iniciativas científicas y académicas enfocadas en su ecología, diversidad funcional y aplicaciones biotecnológicas. En el departamento de Loreto, aún se carece de información detallada

sobre la diversidad de HMA asociados a especies forestales en ecosistemas primarios. Esta falta de conocimiento representa una barrera para el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales y limita el desarrollo de estrategias basadas en el uso de bioinoculantes nativos.

Las especies forestales maderables como *Cedrela odorata* (Cedro), *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo), *Manilkara bidentata* (Quinilla), y *Chorisia integrifolia* (Lupuna), representan un componente esencial en la dinámica ecológica y económica de los bosques tropicales. Estas especies son reconocidas por su alto valor comercial debido a la calidad de su madera, y por su papel ecológico como reguladoras de los ciclos biogeoquímicos, conservación del suelo y hábitat para la fauna.

Estudios recientes destacan que la asociación de estas especies con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) puede desempeñar un papel clave en su desarrollo, especialmente durante la etapa de establecimiento y crecimiento en condiciones de suelos degradados o de baja fertilidad.

La presente investigación tiene como objetivo principal prospectar la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a especies forestales maderables en el bosque primario del distrito de Yurimaguas, contribuyendo al conocimiento de la biodiversidad fúngica del suelo amazónico y promoviendo alternativas para la gestión forestal sostenible en la región.

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
INDICE GENERAL .....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE FIGURAS .....	xiii
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1 Planteamiento y formulación.....	16
1.2. Delimitación de la investigación.....	17
1.3. Formulación del Problema.....	18
1.3.1. Problema General.....	18
1.3.2. Problema Específico.....	18
1.4 Formulación del objetivo.....	18
1.4.1. Objetivo General.....	18
1.4.2. Objetivos Especifico.....	18

1.5. Justificación de la investigación. ....	19
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.1. Antecedentes de estudio.....	20
2.2. Bases teóricas científicas. ....	22
2.2.1. Especies forestales maderables. ....	22
2.2.2. Las micorrizas. ....	26
2.2.3. Tipos de asociación micorrízicas. ....	26
2.2.4. Estructuras de los hongos micorrízicos arbusculares.....	28
2.2.5. Mecanismo de colonización de las micorrizas arbusculares.....	28
2.2.6. Funciones de las micorrizas arbusculares. ....	29
2.2.7. Proceso de infección micorrízica. ....	29
2.2.8. Beneficio de los hongos de micorrizas arbusculares.....	29
2.2.9. Suelo Rizosférico. ....	30
2.3. Definición de términos.....	30
2.4. Formulación de hipótesis. ....	32
2.4.1 Hipótesis general.....	32
2.4.2 Hipótesis específica.....	32
2.5. Identificación de las variables.....	32
2.6 Operacionalización de variables. ....	35
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN. ....</b>	<b>36</b>
3.1. Tipo de investigación.....	36
3.2 Nivel de investigación.....	36
3.3 Métodos de investigación. ....	37
3.4 Diseño de investigación. ....	37

3.5 Población y muestra.....	38
3.6 Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	39
3.8 Orientación ética filosófica y epistemológica.....	40
3.9 Descripción del trabajo de campo y/o laboratorio.....	41
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>56</b>
4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	56
4.2 Discusión de resultados.....	75
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Definición Operacional de las variables e indicadores .....	35
<b>Tabla 2.</b> Coordenadas de ubicación de las especies forestales estudiadas.....	42
<b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza - Anova de Abundancia de esporas. ....	60
<b>Tabla 4.</b> Prueba de medias sobre la Abundancia (n.º de esporas/100 g de suelo) por especie forestal.....	60
<b>Tabla 5.</b> Abundancia absoluta y abundancia relativa en paréntesis de las micorrizas HMA encontradas en cada una de las especies forestales estudiadas. ....	61
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza sobre la Riqueza (S) de géneros de HMA .....	62
<b>Tabla 7.</b> Prueba de comparación de medias sobre la Riqueza de los géneros de HMA presentes en las especies forestales evaluadas.....	63
<b>Tabla 8.</b> Análisis de varianza - ANOVA del Índice de Shannon – Weaver (H).....	64
<b>Tabla 9.</b> Prueba de comparación de medias sobre la diversidad de los géneros de HMA presentes en las especies forestales evaluadas Índice de Shannon – Weaver (H). ....	65
<b>Tabla 10.</b> Análisis de varianza - ANOVA del Índice de Simpson.....	67
<b>Tabla 11.</b> Prueba de comparación de medias sobre la dominancia de los géneros de HMA presentes en las especies forestales evaluadas -Índice de Simpson. ....	68
<b>Tabla 12.</b> Analisis de varianza, para el porcentaje de colonización micorrízica .....	72
<b>Tabla 13.</b> Porcentaje de colonización micorrízica por cada especie forestal evaluada.....	72

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1** . Mapa georreferencial de la ubicación geográficas de las muestras colectadas.... 41
- Figura 2** . Identificación de especies forestales. A; Rotulación de especies con spray rojo.  
B. Georreferenciación de las especies forestales.C. Apoyo de los pobladores de la  
comunidad para el reconocimiento de las especies forestales. .... 43
- Figura 3**. Proceso de colecta de suelo rizosférico asociado a especies forestales. A.  
Codificación de bolsas para las muestras de suelo. B. Area de interés de muestreo C.  
Homogenización del suelo rizosférico. D. Colocación del sustrato en bolsas de  
polipropileno debidamente rotuladas. E. Envío de las muestras al Laboratorio de Análisis  
Agrícolas de Suelos ubicado en Nuevo Cajamarca para su respectivo análisis físico-  
químico. .... 44
- Figura 4** . Proceso de colecta y conservación del suelo rizosférico. A. Siguiendo las raíces  
de los árboles para colecta de suelo para esporas. B. Llenado de bolsas rotuladas con el  
sustrato correspondiente a cada especie forestal. C. Secado de las muestras de suelo a  
temperatura ambiente. D. Almacenamiento de las muestras en refrigeración (4 °C) hasta su  
evaluación en laboratorio. .... 46
- Figura 5** . Proceso de colecta y conservación de raíces. A. Ubicación de las raíces finas de  
las especies forestales seleccionadas. B. Identificación y selección de raicillas de tamaño  
medio para su colecta. C. Empaquetado de las raíces en bolsas debidamente codificados. D.

Selección de raíces finas y conservación en tubos Falcon con solución de alcohol al 70 %  
para su posterior análisis..... 47

**Figura 6** . Proceso de tamizado de muestras de suelo. A. Tamizado de suelo. B. Muestras pesadas en balanza analítica. C. Muestras rotuladas D. Agregando 100 ml de agua. E. Homogenización de las muestras en agua. F. Agregando agua corriente hasta llegar a los 500ml. G. Agitando la muestra. H. Filtrado del sobrenadante a través de tamices. I. Muestras retenidas en tamiz (material tamizado) y transferencia del concentrado a tubos Falcon. J. Adición de solución de sacarosa al 70 %. K. Nivelando el peso de las muestras. L. eliminando el exceso de sacarosa y juntando el sobrenadante retenido en el tamiz. .... 49

**Figura 7** . Aislamiento de esporas A. Esporas de HMA observadas al estereoscopio. B. Extracción de esporas con micropipeta. .... 50

**Figura 8** . Identificación de HMA, muestras visualizadas en microscopio ..... 51

**Figura 9** . Proceso de tinción de raíces. A. Agregando agua destilada para sacar el alcohol B: Vertiendo el agua destilada. C: Eliminando el KOH al 10% D. Añadiendo KOH al 10% en el tubo de ensayo. E: Los tubos se pusieron en baño maría durante 40 minutos. f: Raíces destiñéndose. G. con ayuda de la pipeta sacando peróxido de hidrógeno al 20%. H. Muestras con peróxido de hidrogeno al 20%. I. Raíces desteñidas..... 53

**Figura 10** . Proceso de evaluación de la colonización micorrízica. A: Tinción de raíces con tinta Parker. B: Corte de las raíces .C: Evaluación de las estructuras fúngicas en raíces mediante observación al microscopio. D. Estructuras observadas en el microscopio. .... 53

**Figura 11** . Ilustración de seis categorías (0-5) propuesta por (Trouvelot et al., 1986), donde se describe el porcentaje de colonización..... 55

<b>Figura 12 .</b> Análisis de correlación de Pearson entre las características fisicoquímicas del suelo, la densidad de esporas y la colonización micorrízica arbuscular.....	73
--	----

# CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

## 1.1 Planteamiento y formulación.

En el departamento de Loreto, provincia de Alto Amazonas, distrito de Yurimaguas, existe un conocimiento limitado sobre los consorcios de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados a especies forestales maderables de alto valor económico. A pesar de que se han realizado algunos estudios relacionados con la identificación y caracterización genética de estas asociaciones, sus resultados no han sido difundidos ni aprovechados adecuadamente por productores, técnicos y profesionales del sector forestal.

Está demostrado que las micorrizas desempeñan un rol clave en el desarrollo vegetal, al mejorar la adaptabilidad de las plantas a condiciones adversas (Valverde Otárola & Arias, 2020), incrementar la absorción de nutrientes esenciales como P, Zn y Mn, así como aumentar la tolerancia al estrés hídrico (Ruscitti et al., 2017) y a enfermedades radiculares (Vallejos Torres et al., 2019). La escasa utilización de HMA en la producción de plántulas puede derivar en plantas con menor desarrollo en vivero y

campo, por ende, mayor susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades (FAO & MINEC, 2023).

Frente a esta problemática, la presente investigación tiene como propósito generar conocimiento sobre los HMA asociados a especies forestales maderables, con miras a identificar los géneros presentes en el ecosistema, evaluar su diversidad y establecer una base para su reproducción e inoculación en vivero, contribuyendo así a la producción de plántulas más saludables y resistentes.

## **1.2. Delimitación de la investigación.**

El estudio estuvo enfocado en determinar la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados a especies forestales maderables dentro de un bosque primario del distrito de Yurimaguas.

La investigación se desarrolló en dos etapas diferenciadas:

Primera etapa: Trabajo de campo en un bosque primario, donde se identificó diez especies forestales maderables. Se procedió a la colecta de muestras de raíces y suelo rizosférico.

Segunda etapa: Trabajo de laboratorio, en el cual se evaluó el porcentaje de colonización micorrízica en las raíces, y el conteo de esporas presentes en el suelo y se procedió a la identificación morfológica de los HMA.

La ejecución del estudio dentro de un bosque primario, donde no hubo perturbación del área, garantiza la validez ecológica de los datos obtenidos para la identificación de la diversidad fúngica en el área de estudio.

### **1.3. Formulación del Problema.**

#### 1.3.1. Problema General.

¿Existe escasa información sobre la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en especies forestales maderables dentro de un bosque primario?

#### 1.3.2. Problema Específico.

¿Cuál es la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados a especies forestales maderables?

¿Cuál es el porcentaje de colonización de los HMA en raíces de especies forestales maderables?

### **1.4 Formulación del objetivo.**

#### 1.4.1. Objetivo General.

Determinar la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados a especies forestales maderables de un bosque primario.

#### 1.4.2. Objetivos Especifico.

Determinar la diversidad de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociadas a especies forestales maderables.

Determinar el porcentaje (%) de colonización de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados a especies forestales maderables.

### **1.5. Justificación de la investigación.**

El presente trabajo de investigación busca generar conocimientos fundamentales sobre la asociación entre hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y especies forestales maderables de alto valor económico. El objetivo principal fue identificar los HMA asociados a cada especie forestal, con miras a su posterior aplicación e inoculación en la etapa de vivero, a fin de producir plántulas en condiciones similares a su hábitat natural. Esta estrategia permitirá obtener plantas más resistentes a enfermedades y a condiciones ambientales adversas, contribuyendo así a la restauración de ecosistemas degradados.

Recientes investigaciones han demostrado que la inoculación con HMA incrementa significativamente el desarrollo del sistema radicular, mejorando la absorción de agua y nutrientes esenciales (Hoeksema et al., 2018). Asimismo, las plantas micorrizadas presentan mayores tasas de supervivencia, producción de biomasa y resistencia frente a patógenos del suelo (FAO & MINEC, 2023).

Por ello, esta investigación es de gran importancia para validar la existencia de una coexistencia natural entre las especies forestales maderables de interés y los HMA. Los resultados obtenidos constituyen una base científica sólida para respaldar el uso de HMA en la recuperación de suelos degradados por incendios, extracción de minerales y sistemas agrícolas con baja tecnificación, contribuyendo al desarrollo de prácticas forestales más sostenibles.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

### 2.1. Antecedentes de estudio.

Las investigaciones desarrolladas sobre los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) constituyen un aporte valioso para la ejecución del presente trabajo de investigación, esto permite comprender la diversidad, colonización y distribución de estas asociaciones simbióticas en diferentes ecosistemas.

Wang & Jiang (2015) realizaron un estudio en un bosque plantado en China, donde evaluaron las comunidades de HMA asociadas a diferentes especies arbóreas, con el objetivo de establecer relaciones entre factores edáficos y la diversidad micorrízica. Identificaron 35 especies de HMA pertenecientes a 10 géneros, entre los cuales *Glomus* y *Acaulospora* fueron los más representativos.

Chiquito Noboa et al. (2018) estudiaron la presencia de HMA en especies representativas del bosque seco tropical ecuatoriano. Su objetivo fue aislar e identificar las especies micorrízicas presentes. Los resultados mostraron elevados porcentajes de

micorrización, siendo *Cochlospermum vitifolium* (80.8 %), *Triplaris cumingiana* (71.7 %) y *Albizia multiflora* (70.0 %) las especies con mayor colonización. Asimismo, se reportó una densidad media de esporas por cada 100 gramos de suelo en todas las especies muestreadas, siendo *Triplaris cumingiana* la que presentó mayor esporulación.

Meza B. et al. (2018) desarrollaron una investigación sobre la identificación de HMA en plantaciones de melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica, en dos plantaciones de diferente edad (uno y tres años), con el objetivo de aislar e identificar hongos formadores de micorrizas. Los géneros identificados fueron *Glomus* y *Gigaspora*, siendo *Glomus* el más abundante en términos de esporas por gramo de suelo. Además, se observó un mayor porcentaje de colonización en las raíces de árboles jóvenes (un año de edad), lo que sugiere una mayor actividad micorrízica en etapas tempranas del desarrollo vegetal.

(Herrera, 2019) realizó un estudio sobre la ocurrencia de HMA en plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla*), con el objetivo de determinar las especies asociadas. Identificó 37 especies de HMA, con las mayores densidades de esporas registradas en las localidades de Chazuta (15 esporas g<sup>-1</sup> de suelo), Bello Horizonte (14 esporas g<sup>-1</sup>), INIA Fincyt (12 esporas g<sup>-1</sup>) e INIA Agro Bosque (8 esporas g<sup>-1</sup>). La menor densidad se registró en Aucayacu, con solo 2 esporas g<sup>-1</sup> de suelo y 6 especies identificadas.

Macedo, (2019) investigó la diversidad, nivel de propagación y colonización de HMA asociados a *Manilkara bidentata* (quinilla colorada). Se identificaron ocho géneros y doce especies, entre ellas: *Acaulospora lacunosa*, *A. longula*, *A. morrowiae*, *A. scrobiculata*, *Claroideoglomus claroideum*, *Diversispora lutea*, *D. spurca*, *Entrophospora infrequens*, *Glomus ambisporum*, *Paraglomus occultum*, *Redeckera pubescens* y *Rhizoglomus fasciculatum*. Estos resultados evidencian una alta diversidad de HMA asociados a esta especie arbórea amazónica.

Arevalo, (2018) evaluó y caracterizó las comunidades de HMA en tres agroecosistemas y dos bosques ubicados en las provincias de Alto Amazonas y Lamas. Su objetivo fue determinar la población y diversidad de morfotipos presentes en cinco sistemas productivos. En la época húmeda, los sistemas de pasto degradado y asociación agroforestal presentaron densidades de  $4.2 \times 10^{-1}$  y  $3 \times 10^{-1}$  esporas  $g^{-1}$  de suelo, respectivamente. En la época seca, los valores fueron de  $5.4 \times 10^{-1}$ ,  $2.4 \times 10^0$  y  $1.16 \times 10^0$  esporas  $g^{-1}$  de suelo para los sistemas de bosque secundario, pasto degradado y asociación agroforestal. La diversidad de morfotipos de esporas varió entre 16 y 40 especies, dependiendo del sistema evaluado.

## 2.2. Bases teóricas científicas.

### 2.2.1. Especies forestales maderables.

#### 1) Ana caspi

Nombre común: Ana caspi, guarapo, pao mulato, shihuahuaco amarillo

Nombre científico: *Apuleia leiocarpa*

Familia: Fabaceae (IIAP, 2018).

Descripción botánica: Árbol que puede alcanzar hasta 45 metros de altura, con fuste recto y cilíndrico, en ocasiones torcido hacia la copa. La corteza externa es de color marrón blanquecino a marrón rojizo, desprendiéndose en placas pequeñas e irregulares, dando una apariencia martillada. La corteza interna presenta bandas de color rosado o anaranjado, intercaladas con franjas rosado-amarillentas.

## 2) Cedro

Nombre común: Cedro

Nombre científico: *Cedrela odorata*.

Familia: Meliaceae (IIAP, 2018).

Descripción botánica: Árbol de 20 a 35 m de altura y 50 a 100 cm de diámetro.

Corteza externa de color marrón cenizo claro e interna rosada a crema pálido.

Inflorescencias de 35 a 60 cm, con flores pequeñas, unisexuales, de 8 a 10 mm. Frutos en cápsulas elipsoides, marrón claro con lenticelas blanquecinas, que se abren en 5 valvas con semillas aladas de 2 a 3 cm.

## 3) Cumala

Nombre común: Cumala amarilla, cumala caupuri, cumala zancudo, entre otros

Nombre científico: *Virola sebifera*

Familia: Myristicaceae (IIAP, 2018).

Descripción botánica: Árbol de hasta 30 m, fuste recto y cilíndrico. Corteza externa gris blanquecina; interna estratificada, con capas de color rosado pálido.

## 4) Papelillo

Nombre común: Taobobo, misa, papelillo, cachimbo rojo, cachimbo blanco

Nombre científico: *Cariniana estrellensis*

Familia: Lecythidaceae (IIAP, 2018).

Descripción botánica: Tallo recto y cilíndrico con aletas basales. Corteza externa marrón oscuro, fibrosa, que se desprende en láminas. Corteza interna blanco cremosa, fibrosa, con olor rancio y aceitoso.

### **5) Huayruro**

Nombre común: Huayruro

Nombre científico: *Ormosia coccinea*

Familia: Fabaceae (IIAP, 2018).

Descripción botánica: Árbol de hasta 40 m de altura, con fuste recto. Corteza externa marrón oscuro o grisácea, con reticulado fino y poros dispersos. Internamente arenosa, blanquecina, con incrustaciones rojizas y olor a frejoles.

### **6) Lupuna**

Nombre común: Lupuna

Nombre científico: *Chorisia integrifolia*.

Familia: Malvaceae (IIAP, 2018).

Descripción botánica: Árbol caducifolio de hasta 60 m. Fuste recto, corteza externa marrón ceniza, fisurada. Corteza interna gruesa, marrón anaranjado a crema con estrías blanquecinas. Presenta aletas Cuadras de hasta 5 m.

### 7) Quillo bordon

Nombre común: Quillo bordon

Nombre científico: *Aspidosperma parvifolium* A. DC.

Familia: Apocynaceae (IIAP, 2018).

Descripción botánica: Árbol de 30 m, fuste recto. Corteza externa marrón claro, superficialmente fisurada; interna estratificada, de color amarillo con incrustaciones marrones.

### 8) Quinilla

Nombre común: Balata, mechino, quinilla

Nombre científico: *Manilkara bidentata*

Familia: Sapotaceae (IIAP, 2018).

Descripción botánica: Árbol de hasta 30 m, tallo recto con aletas Cuadradas. Corteza externa marrón rojiza o grisácea, profundamente fisurada. Internamente homogénea, de color rojo anaranjado, exuda látex blanco y pegajoso.

### 9) Tornillo

Nombre común: Aguano masha, cedro masha, pino peruano

Nombre científico: *Cedrelinga catenaeformis*

Familia: Fabaceae (IIAP, 2018).

Descripción botánica: Árbol de hasta 45 m. Fuste recto, corteza externa marrón a grisáceo o marrón rojizo, fisurada. Corteza interna fibrosa, de color rosado intenso.

### **10) Caoba**

Nombre común: Aguano, ébano, mara, mahogany

Nombre científico: *Swietenia macrophylla*

Familia: Meliaceae (IIAP, 2018).

Descripción botánica: Árbol de hasta 50 m, fuste recto a veces con aletas basales. Corteza externa marrón claro a ferrugínea, agrietada. Internamente de color rosado crema, homogénea, ligeramente fibrosa.

#### **2.2.2. Las micorrizas.**

El término micorriza describe la asociación simbiótica entre las raíces de las plantas y el micelio de hongos especializados del suelo, esta simbiosis representa una de las principales vías de absorción de nutrientes en la mayoría de las plantas terrestres, como también existen siete tipos de asociaciones micorrízicas, que se distinguen por su morfología y características del hongo asociado (Camarena-Gutiérrez, 2012).

#### **2.2.3. Tipos de asociación micorrízicas.**

##### **Ectomicorriza:**

Las ectomicorrizas se caracterizan por la formación de una red de hifas que no penetran dentro de las células de la raíz, sino que se ubican entre los espacios

intercelulares, formando lo que se conoce como la red de Hartig. Se pueden observar macroscópicamente desde los esporocarpos del hongo (Andrade-Torres, 2010; Carrillo-Saucedo et al., 2022).

**Micorriza arbuscular (vesículo - arbuscular):**

Anteriormente clasificada como endomicorriza, esta asociación no forma ni manto ni red de Hartig. Se distingue por dos estructuras principales:

**Arbúsculos:** Estructuras altamente ramificadas que se forman dentro de las células corticales, cerca del cilindro vascular, especializadas en el intercambio de nutrientes (Andrade-Torres, 2010).

**Vesículas:** Estructuras ovales o esféricas, que pueden estar dentro o entre células, y funcionan como almacenamiento de nutrientes (Andrade-Torres, 2010). Las vesículas son estructuras cuya morfología varía según la especie pueden ser redondeadas, ovoides u otras formas y presentan paredes delgadas originadas por el engrosamiento terminal de las hifas, estas estructuras acumulan elevadas cantidades de lípidos y funcionan como órganos de reserva del hongo, especialmente en condiciones de estrés, como la escasez de carbohidratos. (Sánchez, 2017; Smith & Read, 2008)

Los hongos que forman estas asociaciones pertenecen principalmente a la familia *Endogonaceae*, dentro del filo *Glomeromycota*, con géneros como *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, entre otros (Rodríguez, 2001).

#### **2.2.4. Estructuras de los hongos micorrízicos arbusculares.**

##### Esporas.

Son estructuras reproductivas del hongo, que durante la germinación forman el micelio, su germinación es inducida por compuestos liberados por las raíces, principalmente flavonoides, también participan aminoácidos como carbohidratos y el proceso puede tardar de uno a dos meses, según la especie. (Rodríguez, 2001)

##### Hifas.

Las hifas son filamentos que permiten la exploración del suelo y la penetración en las raíces, se diferencian en hifas gruesas y delgadas, pudiendo ser intracelulares o intercelulares, dependiendo de su forma de colonización. (Rodríguez, 2001).

#### **2.2.5. Mecanismo de colonización de las micorrizas arbusculares.**

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se propagan en el suelo principalmente a través de tres tipos de propágulos que varían en su viabilidad y capacidad de colonización: 1) esporas, que son estructuras reproductivas resistentes a condiciones adversas; 2) fragmentos de raíces micorrizadas de plantas previamente colonizadas; 3) redes miceliales persistentes en el suelo, estos propágulos pueden conservar su viabilidad incluso después de permanecer en suelos secos durante varios meses.

Cuando el hongo detecta la presencia de una raíz susceptible, se desencadena un intercambio de señales químicas que induce la ramificación intensiva del micelio,

aumentando la probabilidad de contacto, puntos de entrada más frecuentes son las zonas de crecimiento activo de la raíz, como también los HMA no penetran raíces muertas ni lo hacen a través de heridas; además, no son patógenos ni causan daño a las raíces (Corazon-Guivin et al., 2022; Rivillas et al., 2019).

#### **2.2.6. Funciones de las micorrizas arbusculares.**

La asociación simbiótica entre los HMA y las plantas conlleva múltiples beneficios (Rivillas et al., 2019). Aumenta la superficie efectiva de absorción de agua y nutrientes. Prolonga la vida útil de las raíces absorbentes. Mejora la absorción y acumulación de nutrientes, especialmente fósforo. Facilita la solubilización de minerales del suelo, haciéndolos más accesibles para las raíces. Incrementa la tasa fotosintética de la planta. Aumenta la tolerancia a toxinas y condiciones extremas de acidez en el suelo. Reduce el impacto del estrés causado por factores abióticos.

#### **2.2.7. Proceso de infección micorrízica.**

La colonización de raíces por HMA es un proceso complejo que depende de una interacción precisa entre el hongo y la planta huésped (Hoeksema et al., 2018). En la fase de preinfección, los propágulos ya sean esporas o hifas presentes en el suelo próximo a las raíces inician el proceso de infección. Estos propágulos pueden estar libres en el suelo o adheridos a fragmentos de raíces previamente colonizadas (Lenoir et al., 2016).

#### **2.2.8. Beneficio de los hongos de micorrizas arbusculares.**

Uno de los principales beneficios de la simbiosis micorrízica es el aumento de la capacidad de las plantas para tolerar el estrés hídrico, uno de los factores más importantes que limita el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) tienen la capacidad de colonizar las raíces de cerca del 80 % de las plantas terrestres, formando una asociación simbiótica que favorece la supervivencia vegetal bajo condiciones de sequía.(Q. S. Wu & Zou, 2017).

La presencia de micorrizas promueve un desarrollo vegetal más robusto y una mayor tasa de supervivencia bajo estrés hídrico. Las plantas micorrizadas presentan adaptaciones morfológicas, como mayor cantidad de cera epicuticular en hojas y raíces, así como una vía directa de absorción de agua a través de las hifas extraradicales. Además, los HMA favorecen la tolerancia a la sequía mediante mecanismos fisiológicos (mejor absorción de nutrientes) y bioquímicos (regulación hormonal, ajuste osmótico y actividad antioxidante) (Wu & Zou, 2017).

#### **2.2.9. Suelo Rizosférico.**

En la rizosfera las actividades de todos los procesos y funciones se ven influenciadas principalmente por las raíces de las plantas, así mismo la rizosfera es una zona dinámica que rodea las raíces, proporcionando un entorno ideal para una comunidad microbiana diversa, que influye significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas(Solomon & Janda, 2024).

### **2.3. Definición de términos.**

Micorriza: Asociación simbiótica entre un hongo y las raíces de una planta (Camarena-Gutiérrez, 2012)

pH: Propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa (Osorio, 2012)

Arbuscular: Tipo de micorriza endomicorrízica en la que el hongo penetra las células corticales de la raíz (Andrade-Torres, 2010)

Simbiosis: Relación entre dos o más organismos que genera beneficios mutuos (Andrade-Torres, 2010)

Micelio: Conjunto de hifas que conforma la parte vegetativa del hongo (Kuhar & Papinutti, 2013).

Hifa: Filamento fúngico originado a partir de una espora (Rodríguez, 2001).

Vesículas: Estructuras producidas por ciertos hongos, plantas o bacterias, que actúan como compartimentos intracelulares delimitados por una bicapa lipídica (Sánchez, 2017).

Esporas: Células reproductivas producidas por hongos, plantas (musgos, helechos) y algunas bacterias (Rivillas et al., 2019)

Tolerancia: Capacidad de un organismo para resistir y adaptarse a condiciones adversas o a la presencia de sustancias potencialmente dañinas (González-Mendoza & Zapata-Pérez, 2008).

## 2.4. Formulación de hipótesis.

### 2.4.1 Hipótesis general.

Ninguna de las diez especies forestales evaluadas está asociada con hongos micorrízicos arbusculares (HMA).

### 2.4.2 Hipótesis específica.

Al menos una de las especies forestales evaluadas presenta asociación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA).

## 2.5. Identificación de las variables.

Variable independiente (X1): Especies forestales maderables

Dimensión:

Especies forestales

Indicadores:

- *Swietenia macrophylla* (Caoba)
- *Manilkara bidentata* (Quinilla)
- *Cedrelinga catenaeformis*  
(Tornillo)
- *Cedrela odorata* (Cedro)
- *Chorisia integrifolia* (Lupuna)
- *Apuleia Leiocarpa* (Ana caspi)
- *Virola sebifera* (Cumala)
- *Aspidosperma parvifolium*  
(Quillo bordón)
- *Ormosia coccinea* (Huayruro)

- *Cariniana estrellensis*

(Papelillo)

Dimensión:

Propiedades físico-químicas del suelo

Indicadores:

- pH
- Textura
- Materia orgánica
- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Potasio (K)

Variable dependiente (Y2): Presencia de hongos micorrízicos arbusculares (HMA)

Dimensión: Colonización micorrízica

Indicadores:

Porcentaje de colonización

Identificación de géneros micorrízicos

Dimensión: Diversidad de HMA

Indicadores:

- Riqueza de especies
- Densidad de esporas
- Abundancia relativa

Dimensión:

- Morfología de esporas
- Indicadores:
- Color de esporas
- Diámetro de esporas
- Forma de esporas
- Características de las

paredes celulares (color,  
ornamentación, conexión hifal)

- Indicadores ecológicos  
complementarios:
- Índice de equidad de  
Shannon-Wiener
- Índice de dominancia de  
Simpson

## 2.6 Operacionalización de variables.

**Tabla 1.** Definición Operacional de las variables e indicadores

Hipótesis.	VARIABLES.	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Técnica	Instrumentos.		
Al menos una de las especies forestales está en asociación con los hongos micorrízicos arbusculares (HMA)	Especies forestales.	Los árboles forestales suponen solamente el 5 % de la superficie forestal total, es beneficiosa porque aumentan la fertilidad del suelo, contribuyen a la conservación del suelo, agua y mantener la biodiversidad, lo cual es un elemento importante en la economía agrícola (Anyonge & Roshetko, 2003).	Se identificará las 10 especies forestales.	Especies Forestales maderables	Caoba, Cumala, Tornillo, Cedro, Lupuna, Huayruro, Ana Caspi, Quinilla, Quillo bordon. Papelillo.	Nº de plantas seleccionadas por cada especie	Observación y recolección de datos	Registro de datos.		
					pH.	Escala.	Recolección de datos.	Análisis de suelo		
					Materia orgánica, nitrógeno, fosforo, potasio.	Porcentaje.	Recolección de datos.	Análisis de suelo		
	HMA		Asociación fúngica raíz en la naturaleza conocida como endomicorrizas o micorrizas arbusculares, formada por varios zigomicetos, no desarrolla una red de Hartig y penetra intracelularmente en la corteza de la raíz mediante estructuras especializadas llamadas arbusculos (Aguilera-Gómez et al., 2007).	Identificación de esporas de HMA	Diversidad de hongos.	Hongos micorrízicos.	Porcentaje de colonización.	Porcentaje.	Observación microscópica	Registro de datos.
							Riqueza de especies o morfoespecies	Especies o morfoespecies	Observación microscópica	Conteo directo de especies o morfoespecies.
							Densidad de esporas	Numérico	Observación microscópica	Cuantificación y observación.
							Índice de equidad de Shannon-Weaver	Razón numérica	$H' = - \sum [pi * \ln(pi)]$ ;	Registro de datos.
							Índice de dominancia de Simpson	Rango 0 - 1	$\Lambda = \sum pi^2$ ;	Registro de datos.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.**

### **3.1. Tipo de investigación.**

La investigación fue de tipo básico o fundamental, pues buscó generar conocimiento sobre la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados a especies forestales maderables en un bosque primario del distrito de Yurimaguas. Su finalidad fue describir, analizar e identificar los géneros de HMA y estimar los porcentajes de colonización micorrícica, sin una aplicación tecnológica inmediata.

### **3.2 Nivel de investigación.**

El nivel de la investigación fue descriptivo-explicativo. Fue descriptivo porque se identificaron los géneros de HMA presentes en las raíces y suelos rizosféricos de diez especies forestales maderables; y explicativo, porque se evaluaron las diferencias en riqueza, diversidad y colonización mediante análisis estadísticos (ANOVA y pruebas de Scott &

Knott), lo que permitió establecer patrones de asociación entre especies arbóreas y comunidades de HMA (Padilha, 2022; Veiga de cabo et al., 2008).

### **3.3 Métodos de investigación.**

Se aplicó un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo). El enfoque cualitativo se utilizó en la identificación morfológica de esporas de HMA a nivel de género; mientras que el cuantitativo se aplicó en la estimación del número de esporas, porcentajes de colonización y el cálculo de índices ecológicos (Shannon,y Simpson), complementados con análisis estadísticos. Este enfoque integral permitió una comprensión más completa de la diversidad de HMA asociados a especies forestales (Bonilla & Rodríguez, 1997)(Guerrero Barjora, 2022).

### **3.4 Diseño de investigación.**

El estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental, transversal y de campo. Se consideró no experimental debido a que no se realizó manipulación de la variable independiente, es decir, de las especies forestales y los HMA presentes; transversal, ya que la obtención de los datos se efectuó en un único momento; y de campo, porque las muestras se recolectaron directamente en el bosque primario bajo condiciones naturales. Posteriormente, las muestras fueron analizadas en laboratorio mediante las técnicas de tamizado húmedo y decantación para la extracción e identificación de esporas

### 3.5 Población y muestra.

Población: Estuvo conformada por 20 plantas pertenecientes a 10 especies forestales maderables de alto valor económico, ubicadas en un bosque primario del distrito de Yurimaguas.

Muestra: La muestra consistió en 2 plantas por cada especie forestal, seleccionadas de forma aleatoria dentro de la reserva comunal de Jeberrillos, situada a una altitud de 171 msnm.

### 3.6 Técnica e instrumentos de recolección de datos.

- Se utilizó una ficha de recolección de datos, que incluyó la siguiente información:
- Ubicación del lugar
- Registro de coordenadas geográficas del punto de muestreo.
- Ubicación de las especies forestales:
- Georreferenciación individual de cada especie.
- Código de identificación de las especies:
- Se asignaron códigos a cada árbol, por ejemplo: CAO1 (Caoba), TOR1 (Tornillo), etc.
- Etiquetas de identificación para muestras de suelo (esporas): Colocadas dentro y fuera de las bolsas para evitar confusiones.

- Etiquetas de identificación para raíces: Etiquetadas de manera similar a las muestras de suelo.
- Etiquetas para análisis de suelo: Incluyeron fecha, lugar, número de muestra y nombre del responsable.

### **3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.**

La información recopilada se registró inicialmente en una hoja de cálculo de Excel y luego se analizó utilizando el software estadístico RStudio, considerando un nivel de significancia de 0,05. Para determinar las diferencias entre los grupos se aplicó un ANOVA de una sola vía, complementado con la prueba post hoc de Scott & Knott para la comparación múltiple de medias. Además, se elaboraron tablas con datos porcentuales con el fin de facilitar la interpretación y presentación de los resultados.

El análisis estadístico se desarrolló bajo los siguientes supuestos del ANOVA:

Normalidad de los residuos, verificada mediante pruebas estadísticas y diagnósticos.

Homogeneidad de varianzas entre los grupos, evaluada mediante pruebas correspondientes.

Independencia de las observaciones, garantizada por el diseño experimental.

La decisión sobre la hipótesis se realizó considerando los valores de significancia ( $p$ ):

Si  $p < 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, indicando diferencias significativas entre los grupos.

Si  $p \geq 0.05$ , se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, concluyendo que no existen diferencias estadísticamente significativas.

### **3.8 Orientación ética filosófica y epistemológica.**

La investigación fue desarrollada respetando los principios éticos relacionados con la conservación de la naturaleza, así como la dignidad y bienestar de los organismos vivos estudiados (en este caso, los HMA). No se causó daño a los ecosistemas ni se alteraron las condiciones naturales del hábitat.

Enfoque filosófico: Este estudio se sustenta en una perspectiva realista y positivista del conocimiento, considerando que los datos relacionados con los hongos micorrízicos arbusculares son obtenidos mediante la observación sistemática y la aplicación de metodologías científicas confiables.

Enfoque epistemológico: Desde el punto de vista epistemológico, se reconoce que los HMA están presentes en la mayoría de las plantas terrestres, incluidas especies herbáceas, arbóreas y anuales. Su desarrollo en la rizosfera justifica la elección de enfoques metodológicos que permiten evaluar su impacto de manera objetiva y reproducible, garantizando así la validez de los resultados obtenidos en la investigación.

### 3.9 Descripción del trabajo de campo y/o laboratorio.

#### Localización de área de estudio.

La investigación se desarrolló en un bosque primario ubicado en el caserío de Jeberrillos, cuyas coordenadas UTM son X: 360985 y Y: 9379821, a una altitud de 171 msnm.

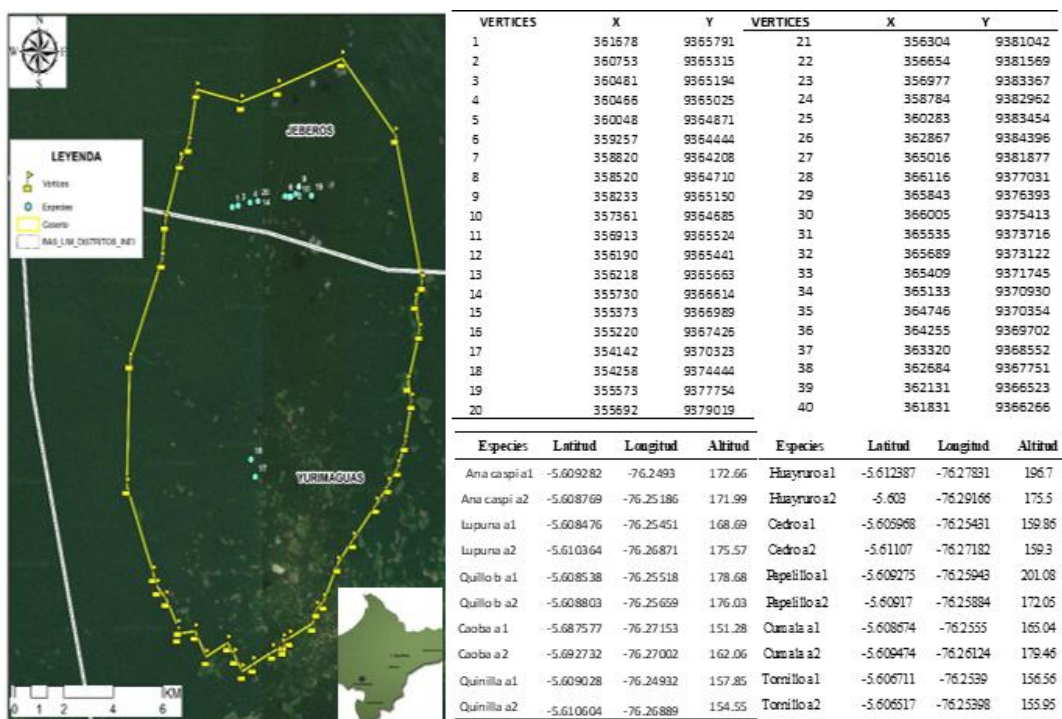


Figura 1. Mapa georreferencial de la ubicación geográfica de las muestras colectadas.

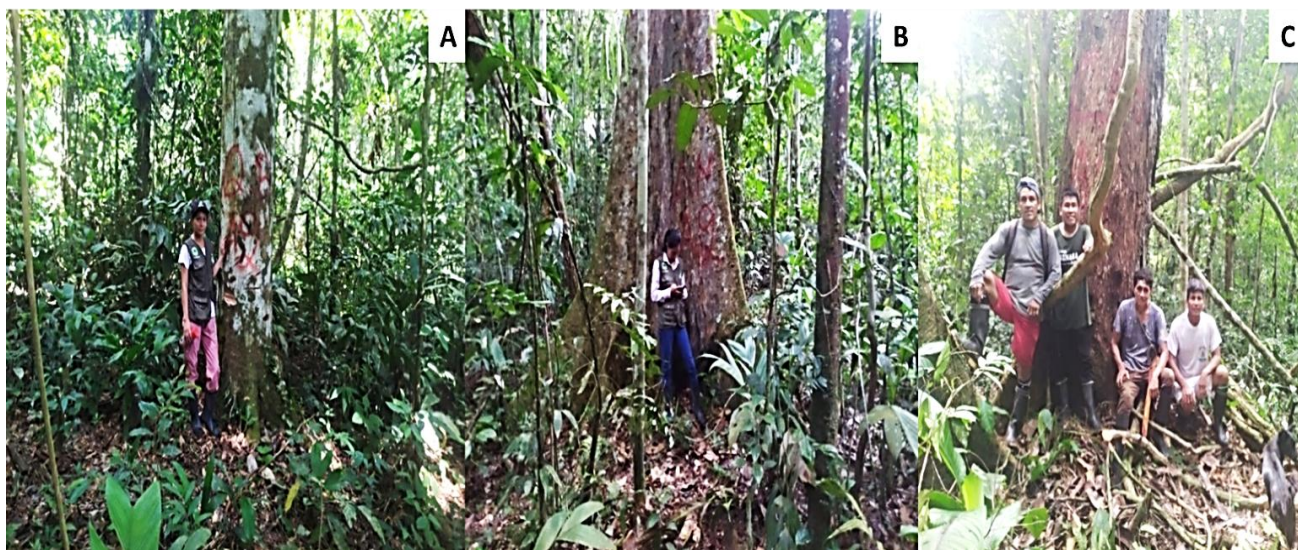
**Tabla 2.** *Coordenadas de ubicación de las especies forestales estudiadas.*

<b>Especies forestales.</b>	<b>Latitud S (°)</b>	<b>Longitud O (°)</b>	<b>Altitud(msnm)</b>
Huayruro a1	5.612387	76.278311	196.70
Huayruro a2	5.603000	76.291661	175.50
Cedro a1	5.605968	76.254310	159.86
Cedro a2	5.611070	76.271823	159.30
Papelillo a1	5.609275	76.259434	201.08
Papelillo a2	5.609170	76.258840	172.05
Cumala a1	5.608674	76.255497	165.04
Cumala a2	5.609474	76.261237	179.46
Tornillo a1	5.606711	76.253899	156.56
Tornillo a2	5.606517	76.253982	155.95
Ana caspi a1	5.609282	76.249295	172.66
Ana caspi a2	5.608769	76.251858	171.99
Lupuna a1	5.608476	76.254505	168.69
Lupuna a2	5.610364	76.268712	175.57
Quillo b a1	5.608538	76.255178	178.68
Quillo b a2	5.608803	76.256594	176.03
Caoba a1	5.687577	76.271529	151.28
Caoba a2	5.692732	76.270015	162.06
Quinilla a1	5.609028	76.249323	157.85
Quinilla a2	5.610604	76.268890	154.55

La investigación se desarrolló en dos etapas, 1ra etapa: oficina y campo, para la planificación y ubicar en mapas digitales los puntos de muestreo. La segunda fase fue desarrollada en laboratorio donde se aislaron y determinaron la colonización micorrícica y la identificación de los géneros de micorrizas. Estas fases son descritas líneas abajo.

### Fase campo.

El área seleccionada fue un bosque primario en función a la presencia de las 10 especies forestales maderables propuestas a evaluar en el sector Jeberillo; donde se procedió a seleccionar 2 árboles al azar por especie forestal, las que fueron evaluados de acuerdo con el planteamiento del estudio. Previo a la evaluación, los árboles fueron geo referenciadas con la ayuda de un GPS Garmin, posteriormente se colocaron las claves de identificación por cada árbol y por cada especie, utilizando pintura de color rojo.



**Figura 2.** *Identificación de especies forestales. A; Rotulación de especies con spray rojo. B. Georreferenciación de las especies forestales. C. Apoyo de los pobladores de la comunidad para el reconocimiento de las especies forestales.*

### Muestreo de suelo.

Se colectaron muestras de suelo, siguiendo la metodología propuesta por Herrera (2019). De cada árbol se extrajeron cuatro submuestras de suelos, orientadas según los puntos cardinales (norte, sur, este y oeste), en la proyección de la copa, esto debido a que se necesita mayor representatividad. La colecta se realizó a una profundidad entre 0 a 20 cm, considerando esta zona como la más activa en cuanto a la interacción entre las raíces y los hongos micorrízicos arbusculares (Figura 3).



**Figura 3.** Proceso de colecta de suelo rizosférico asociado a especies forestales. A. Codificación de bolsas para las muestras de suelo. B. Area de interés de muestreo C. Homogenización del suelo rizosférico. D. Colocación del sustrato en bolsas de polipropileno debidamente rotuladas. E. Envío de las muestras al Laboratorio de Análisis Agrícolas de Suelos ubicado en Nuevo Cajamarca para su respectivo análisis físico-químico.

Las submuestras fueron cuidadosamente mezcladas para obtener una muestra compuesta representativa del suelo asociado a cada especie forestal. Posteriormente, se procedió a realizar el cuarteo, descartando los extremos y conservando aproximadamente un kilogramo de sustrato homogéneo. Esta muestra fue empacada en bolsas de polipropileno rotuladas adecuadamente codificadas con información del árbol, fecha y ubicación.

Finalmente, las muestras fueron enviadas a la ciudad de Nuevo Cajamarca donde lo recepcionó el Téc. Agropec. Gleoder Ruiz Flores, trasladándolo al laboratorio suelos del proyecto especial de alto mayo (PEAM), así realizar el análisis físico y químico, con base en el protocolo descrito por (Da Silva, 2010).

#### **Colecta de suelo para cuantificación de esporas micorrícicas.**

Se colectó suelo rizosférico siguiendo el crecimiento de las raicillas finas de las especies forestales seleccionadas en el estudio (Figura 4). Se recolectó aproximadamente medio kilogramo por muestra de suelo rizosférico, el cual fue codificado cuidadosamente y secado a temperatura ambiente. Posteriormente, el suelo fue trasladado al laboratorio para proceder con el aislamiento de esporas de hongos micorrízicos arbusculares (Herrera, 2019).



**Figura 4.** *Proceso de colecta y conservación del suelo rizosférico. A. Siguiendo las raíces de los árboles para colecta de suelo para esporas. B. Llenado de bolsas rotuladas con el sustrato correspondiente a cada especie forestal. C. Secado de las muestras de suelo a temperatura ambiente. D. Almacenamiento de las muestras en refrigeración (4 °C) hasta su evaluación en laboratorio.*

### **Colecta de Raíces**

Se excavo cuidadosamente una porción de suelo que cubrían las raíces de los árboles, con el objetivo de recolectar las raicillas secundarias y terciarias, que son las más activas fisiológicamente (Figura 5). Estas fueron colocadas en bolsas de polipropileno debidamente codificadas y trasladadas al Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas (UNAAA), siguiendo el protocolo descrito por Herrera (2019).

Las raíces fueron lavadas con agua corriente para eliminar restos de suelo, posteriormente se seleccionaron y separaron utilizando un bisturí aquellas con un diámetro aproximado de 2 mm (Da Silva, 2010). Las raíces seleccionadas fueron colocadas en tubos Falcon de 50 mL, conteniendo solución de etanol al 70% para su conservación hasta el proceso de tinción e identificación micorrízica.



**Figura 5.** *Proceso de colecta y conservación de raíces. A. Ubicación de las raíces finas de las especies forestales seleccionadas. B. Identificación y selección de raicillas de tamaño medio para su colecta. C. Empaquetado de las raíces en bolsas debidamente codificados. D. Selección de raíces finas y conservación en tubos Falcon con solución de alcohol al 70 % para su posterior análisis.*

### **Aislamiento y conteo de esporas**

El aislamiento de esporas se realizó mediante la técnica de tamizado húmedo y decantación, propuesta por Gerdemann & Nicolson (1963) y modificada por Sánchez de Prager et al. (2010). El procedimiento consistió en los siguientes pasos (Figura 6 y 7):

**Preparación del suelo:** Se desmenuzó suavemente el suelo sobre un tamiz de 250  $\mu\text{m}$  para eliminar terrones grandes.

**Pesado y distribución:** Se pesaron 100 gramos de suelo seco en una balanza analítica. Esta cantidad fue distribuida equitativamente en tres vasos de precipitados codificados. Para optimizar el uso de la centrífuga, se prepararon simultáneamente muestras de otra especie forestal, también divididas en tres vasos.

**Suspensión del suelo:** A cada vaso de precipitado se le añadieron 100 ml de agua de caño, agitando con una varilla para homogenizar la suspensión.

**Decantación en probetas:** El contenido de cada vaso se vertió cuidadosamente en probetas de 500 ml, añadiendo más agua hasta completar el volumen. Se realizaron cinco movimientos de vaivén suaves y se dejó reposar durante 15 segundos para permitir la sedimentación del material más pesado.

**Tamizado del sobrenadante:** Se preparó un sistema de doble tamiz: tamiz de 250  $\mu\text{m}$  arriba y 45  $\mu\text{m}$  abajo. Se vertió cuidadosamente el sobrenadante a través del sistema de tamices, evitando remover los sedimentos del fondo de la probeta.

**Recolección del concentrado:** El material retenido en el tamiz de 45  $\mu\text{m}$  fue recogido utilizando una pisseta y transferido a tubos Falcon de 50 ml.

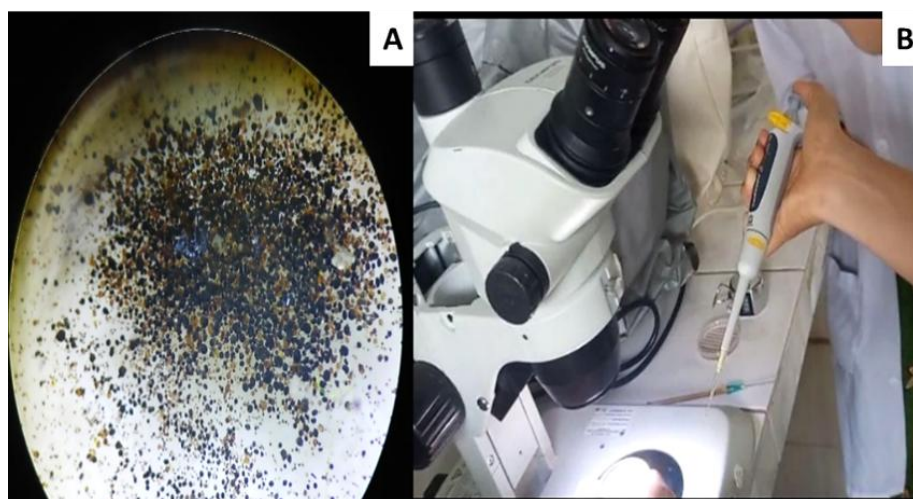
**Centrifugación con sacarosa:** A cada tubo se le agregó 20 ml de sacarosa al 70 %, completando el volumen a 50 ml. Luego, se pesaron los tubos en una balanza analítica para equilibrar el peso, ajustando con gotas de agua destilada si fuera necesario.



**Figura 6.** Proceso de tamizado de muestras de suelo. A. Tamizado de suelo. B. Muestras pesadas en balanza analítica. C. Muestras rotuladas D. Agregando 100 ml de agua. E. Homogenización de las muestras en agua. F. Agregando agua corriente hasta llegar a los 500ml. G. Agitando la muestra. H. Filtrado del sobrenadante a través de tamices. I. Muestras retenidas en tamiz (material tamizado) y transferencia del concentrado a tubos Falcon. J. Adición de solución de sacarosa al 70 %. K. Nivelando el peso de las muestras. L. eliminando el exceso de sacarosa y juntando el sobrenadante retenido en el tamiz.

**Proceso de centrifugado:** Las muestras se centrifugaron a 3500 RPM durante 3 minutos. Posteriormente, el sobrenadante fue vertido sobre un tamiz de 45  $\mu\text{m}$ , y se lavó con abundante agua usando una piseta para eliminar los residuos de sacarosa.

**Observación de esporas:** Finalmente, las esporas fueron recogidas del tamiz con ayuda de la piseta y colocadas en placas Petri para su observación bajo un estereoscopio, donde se procedió a su aislamiento y clasificación por morfotipos.



**Figura 7.** *Aislamiento de esporas* A. *Esporas de HMA observadas al estereoscopio.*  
B. *Extracción de esporas con micropipeta.*

Para el conteo de esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), se utilizaron placas Petri de plástico de 6 x 5.50 cm, las cuales fueron marcadas con un plumón indeleble, dividiéndolas en una cuadrícula de 16 cuadros de 1 x 1 cm mediante cuatro líneas horizontales y cuatro verticales. El conteo de esporas se expresa como el número de esporas por cada 100 gramos de suelo seco (Sánchez de Prager et al., 2010).

### Identificación de HMA a nivel de género

La identificación taxonómica de los morfotipos de esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se realizó mediante observación microscópica con aumentos de 20X, 40X y 100X. Para su caracterización se evaluaron criterios morfológicos como el color y diámetro de las esporas ( $\mu\text{m}$ ), la forma, el número y estructura de las paredes, la ornamentación superficial, la presencia de cicatrices y el tipo de conexión hifal (Figura 8).

La determinación de las morfoespecies se efectuó siguiendo la clasificación taxonómica propuesta por Oehl et al. (2011) y utilizando claves de identificación especializadas disponibles en los sitios web de la International Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) [<https://invam.ku.edu/species-descriptions>], de Janusz Blaszkowski de la Szczecin University of Agronomy [<http://www.agro.ar.szczecin.pl/-jblaszkowski/>]. Finalmente, se identificaron los géneros presentes, se registraron los resultados y se tomaron microfotografías representativas de las diferentes esporas observadas.



**Figura 8.** Identificación de HMA, muestras visualizadas en microscopio

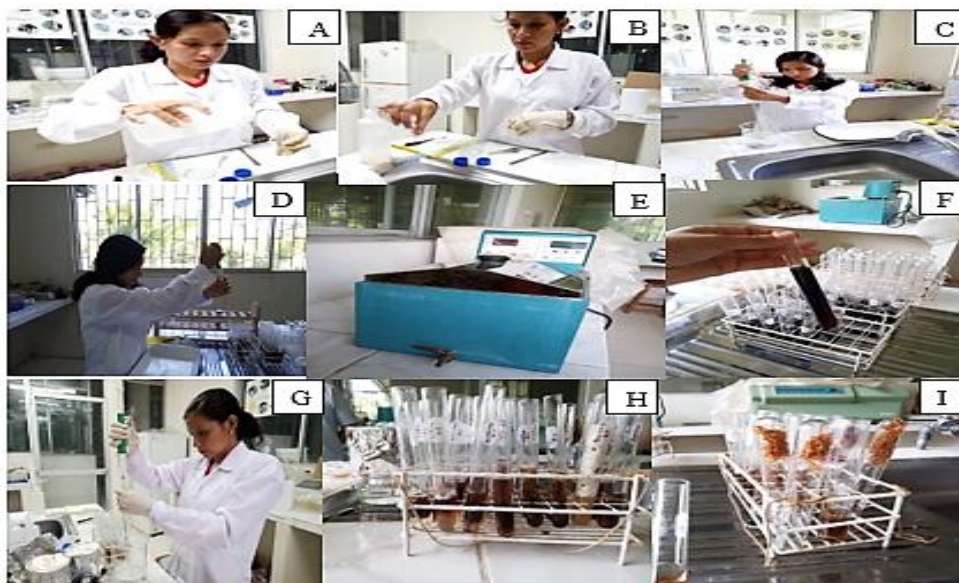
### **Tinción de raíces**

El proceso de tinción de las raíces se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Delgado- Mera (2023). Las raíces se colocaron en tubos de ensayo de 25 ml previamente marcados y se les agregó KOH al 10%. Se dejaron en baño maría a 40 °C durante 40 minutos.

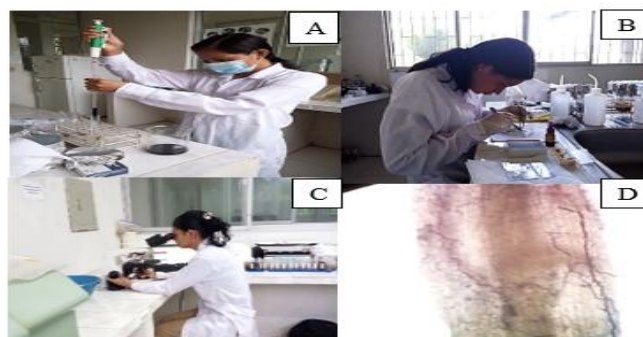
Se dejó reposar las muestras durante toda la noche. Al día siguiente, si algunas muestras no aclararon, se les aplicó KOH adicional en dos ocasiones. A las muestras restantes, se les aplicó peróxido de hidrógeno al 20% durante 10 minutos, repitiendo el proceso por dos veces. Luego se enjuagaron las raíces con agua destilada y se incorporó peróxido si fue necesario. Se dejó reposar nuevamente (Figura 9).

Las raíces que lograron aclararse se tiñeron con tinta Parker al 1%, dejando las muestras en baño maría a 90 °C durante 4 minutos. Finalmente, las muestras se retiraron del baño maría y se dejaron enfriar.

La observación de las raíces se llevó a cabo siguiendo los métodos descritos por Moukarzel et al. (2020) Para ello, se utilizó una placa Petri debidamente marcada con líneas horizontales de 1 cm. Con un bisturí, se cortaron segmentos de 1 cm de las raíces y se acomodaron en el portaobjeto, añadiendo lactoglicerol antes de cubrirlas con un cubreobjeto. Las muestras se observaron bajo el microscopio marca Labomed (Figura 10).



**Figura 9.** *Proceso de tinción de raíces. A. Agregando agua destilada para sacar el alcohol B: Vertiendo el agua destilada. C: Eliminando el KOH al 10% D. Añadiendo KOH al 10% en el tubo de ensayo. E: Los tubos se pusieron en baño maría durante 40 minutos. f: Raíces destiñéndose. G. con ayuda de la pipeta sacando peróxido de hidrógeno al 20%. H. Muestras con peróxido de hidrogeno al 20%. I. Raíces desteñidas.*



**Figura 10.** *Proceso de evaluación de la colonización micorrízica. A: Tinción de raíces con tinta Parker. B: Corte de las raíces .C: Evaluación de las estructuras fúngicas en raíces mediante observación al microscopio. D. Estructuras observadas en el microscopio.*

### **Determinación de la colonización micorrízica.**

La determinación de colonización micorrízica en las raíces se realizó siguiendo la técnica de Trouvelot et al. (1986), la cual permite estimar la intensidad de la infección micorrízica a través de la observación microscópica de segmentos radicales teñidos. Los segmentos teñidos se montaron en portaobjetos y se observaron al microscopio óptico (100–400×). Cada segmento de raíz fue evaluado individualmente para determinar el grado de colonización micorrízica.

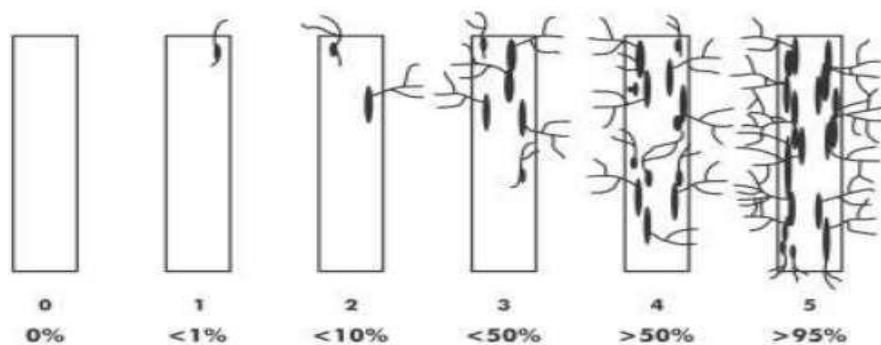
A cada segmento de raíz se le asignó un índice de colonización según la escala visual propuesta por Trouvelot et al. (1986). Una vez registrada la cantidad de raíces correspondientes a cada categoría de colonización (valores de 1 a 5), se determinó el número total de segmentos por índice. Con estos datos, el porcentaje de micorrización se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\%M = (n1 + 5(n2) + 30(n3) + 70(n4) + 95(n5) /N$$

Donde:

N: es el número total de segmentos observados.

$n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$ : son el número de segmentos observados con los índices 0, 1, 2, 3, 4, y 5 respectivamente, que corresponden a la intensidad de colonización de las raíces (Figura 11).



**Figura 11.** Ilustración de seis categorías (0-5) propuesta por (Trouvelot et al., 1986), donde se describe el porcentaje de colonización.

## **CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados.**

A continuación, se presentan los resultados de la identificación morfológica de las esporas de HMA, lo que permitió reconocer los diferentes géneros presentes en las especies forestales evaluadas. Los valores corresponden al número de esporas de HMA por cada 100 g de suelo.

#### **Abundancia absoluta y relativa de esporas de HMA por género y especie forestal**

La Tabla 3 muestra el análisis de varianza de abundancia, no presenta diferencia significativa entre las especies forestales el p-valor es de 0.1137. La Tabla 4 presenta los valores de Abundancia (nº de esporas/100g de suelo) por especie. La prueba de medias mostró que no hay diferencias entre ellas, ya que todos los resultados se ubicaron dentro de un mismo grupo(a), sin embargo, se observa resultados numéricamente diferentes entre Lupuna. (173), Tornillo. (146), seguido por, Cumala (136) y cedro con 128.

La Tabla 5 presenta la abundancia absoluta y la abundancia relativa (entre paréntesis) de los géneros de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados a diez especies forestales. En conjunto, los resultados evidencian una estructura comunitaria heterogénea, caracterizada por la dominancia de pocos géneros generalistas y la presencia de un conjunto de géneros menos frecuentes, cuya distribución varía según la especie forestal hospedera.

A nivel general, la comunidad micorrízica estuvo dominada principalmente por los géneros *Glomus*, *Funneliformis*, *Paraglomus* y *Acaulospora*, los cuales concentraron la mayor proporción de esporas en la mayoría de las especies evaluadas. Este patrón sugiere una alta plasticidad ecológica de dichos géneros y una amplia capacidad de adaptación a diferentes condiciones edáficas del ecosistema estudiado.

El género *Glomus* fue el más abundante a nivel global, registrando los valores más elevados en la mayoría de las especies forestales, particularmente en Tornillo (61; 0.41), Quinilla (58; 0.39) y Lupuna (54; 0.31). Su alta abundancia y presencia generalizada confirman su carácter cosmopolita y generalista, así como su rol estructural clave en la conformación de las comunidades micorrízicas del suelo tropical, al ser altamente competitivo y eficiente en la colonización radical.

*Paraglomus* ocupó el segundo lugar en importancia relativa, con valores destacados en Lupuna (37.5; 0.20), Cedro (34; 0.26) y Ana Caspi (23; 0.19). Su distribución amplia y abundancia moderada sugieren que este género presenta una tolerancia elevada a la variabilidad edáfica, posiblemente asociada a su adaptación a suelos con contenidos intermedios de fósforo y materia orgánica, desempeñando un papel complementario al de *Glomus* en la estabilidad de la comunidad micorrízica.

El género *Acaulospora* mostró una presencia relativamente constante en la mayoría de las especies forestales, con valores elevados en Lupuna (26; 0.15), Cedro (22; 0.17) y Cumala (18; 0.13). Esta regularidad indica que se trata de un componente estructural estable de las comunidades de HMA, posiblemente favorecido por su preferencia por suelos ligeramente ácidos, condición común en ecosistemas tropicales.

Por su parte, *Funneliformis* destacó por su abundancia excepcional en Quillo (66.5; 0.54), el valor más alto registrado en toda la tabla, lo que evidencia una marcada dominancia de este género en dicha especie. Aunque en el resto de las especies presentó valores intermedios (7–18), este incremento puntual sugiere una asociación preferencial con Quillo bordón o la existencia de condiciones edáficas particulares que favorecen su esporulación y competitividad, como buena aireación del suelo o un pH cercano a la neutralidad.

Los géneros *Diversispora*, *Rhizoglosum* y *Ambispora* presentaron abundancias intermedias y distribuciones específicas según la especie forestal. *Rhizoglosum*, por ejemplo, fue especialmente relevante en Cumala (22; 0.16) y Papelillo (23; 0.18), mientras que *Ambispora* mostró valores elevados en Cumala (17.5; 0.13) y Huayruro (12.5; 0.12), lo que sugiere preferencias ecológicas más específicas.

En contraste, géneros como *Entrophospora*, *Archaeospora*, *Dentiscutata*, *Gigaspora*, *Racocetra* e *Intraspora* presentaron bajas abundancias absolutas y relativas, con una distribución restringida a pocas especies forestales. Esta baja frecuencia sugiere que dichos géneros podrían estar asociados a microhábitats particulares, poseer requerimientos edáficos específicos o presentar menor competitividad frente a los géneros dominantes, aportando sin embargo una diversidad funcional complementaria a la comunidad micorrízica.

En términos generales, las mayores abundancias totales de esporas se registraron en Lupuna (173) y Tornillo (146), mientras que Huayruro (106.5) y Caoba (107.5) presentaron valores relativamente menores. Estas diferencias reflejan que la especie forestal hospedera ejerce un efecto determinante sobre la abundancia, composición y dominancia de los géneros de HMA, lo que concuerda con los patrones observados en los índices de riqueza, diversidad (Shannon–Weaver) y dominancia (Simpson).

Posteriormente, se presentan los índices de diversidad fúngica (Riqueza, Shannon-Wiener y Simpson), los cuales complementan la información obtenida y permiten comprender con mayor profundidad la complejidad y estructura de las comunidades micorrízicas en el ecosistema evaluado.

**Tabla 3.** Análisis de varianza - Anova de Abundancia de esporas.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Especie	6899.25	9	766.58	2.23	0.1137
Error	3436.5	10	343.65		
Total	10335.75	19			

**Tabla 4.** Prueba de medias sobre la Abundancia (n.º de esporas/100 g de suelo) por especie forestal.

<b>Especie Forestales</b>	<b>Medias</b>
Ana Caspi	119.00
Caoba	107.50
Cedro	128.50
Cumala	136.50
Huayruro	106.50
Lupuna	173.00
Papelillo	122.50
Quillo b.	122.00
Quinilla	126.00
Tornillo	146.00

Las medias fueron sometidas a comparación mediante la prueba de Scott-Knott con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ . La ausencia de letras de agrupación indica que no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre las especies forestales evaluadas.

**Tabla 5.** Abundancia absoluta y abundancia relativa en paréntesis de las micorrizas HMA encontradas en cada una de las especies forestales estudiadas.

Género	ANA CASPI	CAOBA	CEDRO	CUMALA	HUAYRURO	LUPUNA	PAPELILLO	QUILLO B.	QUINILLA	TORNILLO	Total
<i>Entrophospora</i>	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	10.5(0.06)	15.5(0.13)	0.5(0.004)	2.5(0.017)	23.0(0.16)	52.0
<i>Diversispora</i>	14.0 (0.12)	4.5(0.04)	12.5(0.10)	14.5(0.11)	7.5(0.07)	14.5(0.08)	16.5(0.13)	0.0(0.00)	0.0 (0.00)	0.0(0.00)	70.0
<i>Otospora</i>	0.0 (0.00)	10.0(0.09)	0.0 (0.00)	14.0(0.10)	5.5(0.05)	0.0(0.00)	2.5(0.02)	8.0(0.06)	3.0(0.02)	12.5(0.08)	55.5
<i>Pacispora</i>	0.0 (0.00)	16.5(0.15)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.5(0.004)	0.0(0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	2.5(0.01)	19.5
<i>Paraglomus</i>	23.0(0.19)	4.5(0.04)	34.0(0.26)	13.5(0.10)	16.0(0.15)	37.5(0.2)	9.0(0.07)	18.0(0.14)	19.5(0.13)	0.0(0.00)	175.0
<i>Kuklospora</i>	0.0 (0.00)	12.0(0.11)	17.5(0.14)	0.0 (0.00)	0.0(0.00)	0.0(0.00)	0.0(0.00)	0.0(0.00)	0.0(0.00)	24.5(0.16)	54.0
<i>Acaulospora</i>	17.0(0.14)	10.5(0.10)	22.0(0.17)	18.0(0.13)	12.5(0.12)	26.0(0.15)	4.0(0.03)	16.5(0.13)	8.0(0.05)	12.5(0.08)	147.0
<i>Ambispora</i>	0.0 (0.00)	0.5(0.04)	2.5(0.02)	17.5(0.13)	12.5(0.12)	0.0(0.00)	0.0 (0.00)	0.0(0.00)	0.0(0.00)	0.0 (0.00)	33.0
<i>Glomus</i>	37.5 (0.32)	15.0(0.14)	14.0(0.11)	14(0.10)	23.5(0.22)	54(0.31)	25.0(0.2)	7.5(0.06)	58.0(0.39)	61.0(0.41)	309.5
<i>Rhizoglomus</i>	7.0(0.06)	0.0(0.00)	0.0 (0.00)	22(0.16)	9.5(0.09)	3.5(0.02)	23.0(0.18)	1.5(0.01)	0.0(0.00)	2.5(0.02)	69.0
<i>Archaeospora</i>	1.5 (0.01)	0.0 (0.00)	5.5(0.04)	0.5(0.03)	10.0(0.09)	0.0 (0.00)	0.0(0.00)	0.0(0.00)	0.0(0.00)	0 (0.00)	17.5
<i>Funneliformis</i>	14.5 (0.12)	18.0(0.17)	15.5(0.12)	14.5(0.11)	7.0(0.07)	13.0(0.07)	15.0(0.12)	66.5(0.54)	30.5(0.20)	5.5(0.03)	200.0
<i>Dentiscutata</i>	2.0(0.02)	5.0(0.05)	5.0(0.04)	0 (0.00)	2.0(0.02)	0.0(0.00)	3.5(0.026)	0.0(0.00)	0.0(0.00)	0.0(0.00)	17.5
<i>Gigaspora</i>	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	2.5(0.02)	0.0(0.00)	5.5(0.03)	2.5(0.02)	3.0(0.02)	0.0(0.00)	0.0 (0.00)	13.5
<i>Racocetra</i>	0.0(0.00)	11.0(0.10)	0.0 (0.00)	5.5(0.04)	0.0(0.00)	6.0(0.034)	0.0(0.00)	0.0 (0.00)	0.0(0.00)	2.0(0.01)	24.5
<i>Intraspora</i>	2.5 (0.02)	0.0 (0.00)	0.0(0.00)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	2.5(0.01)	6.0(0.049)	0.5(0.004)	4.5(0.03)	0.0(0)	16.0
<b>Total/Especie Forestal</b>	119	107.5	128.5	136.5	106.5	173	122.5	122	126	146	1273.5

### Riqueza de especies (S) de micorrizas

La riqueza de especies representa el número total de géneros de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) identificados en cada muestra (Wiensczyk et al., 2002). La riqueza de especies se define como el número total de géneros de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) identificados en cada muestra. El análisis de varianza evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las especies forestales ( $F = 4.45$ ;  $p = 0.0145$ ; Tabla 6), lo que indica que la riqueza de géneros de HMA varía de manera significativa en función de la especie hospedera.

**Tabla 6.** *Análisis de varianza sobre la Riqueza (S) de géneros de HMA*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Especie</b>	42.05	9	4.67	4.45	0.0145
<b>Error</b>	10.5	10	1.05		
<b>Total</b>	52.55	19			

Posteriormente, la prueba de comparación múltiple de Scott & Knott ( $\alpha = 0.05$ ) permitió clasificar las especies forestales en dos grupos estadísticamente diferenciados (Tabla 7). El grupo A incluyó a la mayoría de las especies evaluadas, las cuales presentaron valores de riqueza micorrízica moderados a altos, mientras que el grupo B estuvo conformado únicamente por Quinilla, que mostró la menor riqueza de géneros de HMA.

**Tabla 7.** Prueba de comparación de medias sobre la Riqueza de los géneros de HMA presentes en las especies forestales evaluadas.

<b>Especie</b>	<b>Medias</b>
Ana Caspi	8.50 a*
Caoba	10.50a
Cedro	8.50 a
Cumala	10.50a
Huayruro	9.50 a
Lupuna	9.50 a
Papelillo	10.00a
Quillo b.	7.50 a
Quinilla	5.50 b
Tornillo	8.50 a

Las medias fueron comparadas mediante la prueba de Scott-Knott con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ . Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas entre las especies forestales evaluadas.

Las mayores medias de riqueza se registraron en Caoba y Cumala (10.5), seguidas de Papelillo (10.0), Huayruro y Lupuna (9.5), y Ana Caspi, Cedro y Tornillo (8.5). En contraste, Quinilla presentó una media significativamente inferior (5.5), diferenciándose estadísticamente del resto de las especies evaluadas.

Desde una perspectiva ecológica, las especies Caoba, Cumala y Papelillo, al presentar las mayores riquezas de géneros de HMA, podrían ofrecer condiciones edáficas más favorables, como mayor disponibilidad de materia orgánica, adecuada aireación del suelo y

pH relativamente estable, además de características radiculares que facilitan la colonización micorrízica, como sistemas radicales finos y altamente ramificados.

Por el contrario, la baja riqueza observada en Quinilla sugiere una menor afinidad simbiótica con los HMA presentes o condiciones edáficas menos propicias para el establecimiento y coexistencia de múltiples géneros micorrízicos, lo que explicaría su diferenciación estadística respecto a las demás especies forestales evaluadas.

### **Índice de Shannon – Weaver**

El índice de Shannon–Weaver ( $H'$ ) evalúa la diversidad de las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), integrando tanto la riqueza de géneros como la equitatividad en su distribución. El análisis de varianza evidenció diferencias estadísticamente altamente significativas entre las especies forestales ( $F = 9.58$ ;  $p = 0.0008$ ; Tabla 8), lo que indica que la diversidad micorrízica varía de manera significativa en función de la especie arbórea hospedante.

**Tabla 8.** *Análisis de varianza - ANOVA del Índice de Shannon – Weaver ( $H'$ ).*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Especie</b>	1.66	9	0.18	9.58	0.0008
<b>Error</b>	0.19	10	0.02		
<b>Total</b>	1.85	19			

Posteriormente, la prueba de comparación múltiple de Scott & Knott ( $\alpha = 0.05$ ) permitió clasificar las especies forestales en dos grupos estadísticamente diferenciados (Tabla

9). El grupo A estuvo conformado por las especies con valores moderados a altos de diversidad micorrízica, mientras que el grupo B incluyó aquellas con diversidad significativamente menor, lo que sugiere una distribución menos equitativa de los géneros de HMA.

Las mayores medias del índice  $H'$  se registraron en Caoba (2.19), Cumala (2.16), Papelillo (2.11) y Huayruro (2.05), lo que refleja comunidades micorrízicas altamente diversas y estructuralmente equilibradas. Valores intermedios se observaron en Cedro (1.91), Lupuna (1.90) y Ana Caspi (1.79). En contraste, Quillo bordon (1.41), Quinilla (1.33) y Tornillo (1.68) presentaron los valores más bajos, diferenciándose significativamente del grupo de mayor diversidad.

**Tabla 9.** Prueba de comparación de medias sobre la diversidad de los géneros de HMA presentes en las especies forestales evaluadas Índice de Shannon – Weaver ( $H$ ).

<b>Especies</b>	<b>Medias</b>
Ana Caspi	1.79 a*
Caoba	2.19 a
Cedro	1.91 a
Cumala	2.16 a
Huayruro	2.05 a
Lupuna	1.90 a
Papelillo	2.11 a
Quillo b.	1.41 b
Quinilla	1.33 b
Tornillo	1.68 b

Las medias fueron comparadas mediante la prueba de Scott-Knott con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ . Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas entre las especies forestales evaluadas.

Los valores más altos de Caoba, Cumala y Papelillo sugieren comunidades micorrízicas con mayor equilibrio y diversidad estructural, posiblemente asociadas a condiciones edáficas favorables o a una alta capacidad simbiótica de sus raíces. Por el contrario, los valores reducidos observados en Quillo bordón y Quinilla podrían relacionarse con suelos más ácidos o compactos, menor disponibilidad de nutrientes, o una compatibilidad limitada entre las raíces y los propágulos micorrízicos presentes.

Desde una perspectiva ecológica, los altos valores de  $H'$  observados en Caoba, Cumala, Papelillo y Huayruro sugieren comunidades micorrízicas con mayor equilibrio y diversidad estructural, posiblemente asociadas a condiciones edáficas favorables, como mayor disponibilidad de nutrientes, adecuada aireación del suelo y una alta capacidad simbiótica de sus sistemas radicales.

Por el contrario, los valores reducidos registrados en Quillo bordón y Quinilla indicarían comunidades micorrízicas menos diversas, potencialmente dominadas por pocos géneros de HMA, lo que podría relacionarse con limitaciones edáficas, como suelos más compactos o ácidos, menor disponibilidad de nutrientes, o una compatibilidad simbiótica restringida entre las raíces y los propágulos micorrízicos presentes.

En términos generales, los valores de  $H'$  obtenidos (1.33–2.19) reflejan comunidades micorrízicas ecológicamente estructuradas, aunque con diferencias claras según la especie hospedante, patrón que concuerda con lo reportado en la literatura, donde se señala que factores como la arquitectura y densidad radical, la fenología y la composición de exudados

radicales influyen de manera determinante en la diversidad de los HMA. Este patrón coincide con lo reportado por Santafe-Pulgarín & Posada Almanza (2023) quienes señalan que factores como la arquitectura y densidad radical, la fenología y la composición de exudados influyen en la diversidad de los HMA.

### **Índice de Simpson**

El índice de Simpson (D) permite evaluar la dominancia dentro de las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), expresando la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan al mismo género. El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente altamente significativas entre las especies forestales evaluadas ( $F = 11.12$ ;  $p = 0.0004$ ; Tabla 10), lo que indica que la estructura y dominancia de las comunidades micorrízicas varían de manera significativa según la especie arbórea hospedante.

**Tabla 10.** *Análisis de varianza - ANOVA del Índice de Simpson*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Especie	0.12	9	0.01	11.12	0.0004
Error	0.01	10	1.20E-03		
Total	0.13	19			

Posteriormente, la prueba de comparación múltiple de Scott & Knott ( $\alpha = 0.05$ ) permitió diferenciar dos grupos estadísticamente contrastantes en función de la dominancia micorrízica (Tabla 11). El grupo A estuvo conformado por las especies con mayores valores del índice de Simpson, mientras que el grupo B incluyó aquellas con menores valores, indicando comunidades micorrízicas más equitativas.

Las mayores medias del índice D se registraron en Quillo bordón (0.34), Quinilla (0.32) y Tornillo (0.24), lo que evidencia comunidades micorrízicas con alta dominancia, donde uno o pocos géneros de HMA prevalecen claramente. En contraste, Caoba y Cumala (0.12), Papelillo y Huayruro (0.14), Cedro (0.17), Lupuna (0.18) y Ana Caspi (0.19) presentaron valores significativamente menores, reflejando comunidades más equitativas, con una distribución más balanceada de los géneros micorrízicos.

**Tabla 11.** Prueba de comparación de medias sobre la dominancia de los géneros de HMA presentes en las especies forestales evaluadas -Índice de Simpson.

<b>Especie forestal</b>	<b>Medias</b>
Ana Caspi	0.19 b*
Caoba	0.12 b
Cedro	0.17 b
Cumala	0.12 b
Huayruro	0.14 b
Lupuna	0.18 b
Papelillo	0.14 b
Quillo b.	0.34 a
Quinilla	0.32 a
Tornillo	0.24 a

Las medias fueron comparadas mediante la prueba de Scott-Knott con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ . Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas entre las especies forestales evaluadas.

Desde una perspectiva ecológica, los altos valores del índice de Simpson observados en Quillo bordón, Quinilla y Tornillo indican una marcada dominancia de uno o pocos géneros de HMA, lo que podría estar asociado a una mayor selectividad simbiótica de estas especies arbóreas o a condiciones edáficas que favorecen a determinados géneros micorrízicos dominantes.

Por el contrario, las especies Caoba, Cumala, Papelillo, Huayruro, Cedro, Lupuna y Ana Caspi presentaron valores significativamente menores del índice D, lo que sugiere comunidades micorrízicas más equitativas y estructuralmente balanceadas, donde varios géneros coexisten sin que uno predomine claramente sobre los demás. Estos resultados confirman que la especie hospedante ejerce un efecto determinante sobre la dominancia y estructura de las comunidades de HMA, reforzando la idea de que las características radiculares y las condiciones edáficas asociadas a cada especie forestal influyen directamente en la composición y abundancia relativa de los géneros micorrízicos.

Las mayores riquezas de géneros de HMA se registraron en Caoba y Cumala ( $S = 10.5$ ), seguidas por Papelillo ( $S = 10.0$ ) y Huayruro y Lupuna ( $S = 9.5$ ), mientras que los valores más bajos correspondieron a Quillo bordón ( $S = 7.5$ ) y Quinilla ( $S = 5.5$ ), siendo esta última la única especie ubicada en el grupo estadísticamente inferior. Esto indica que la cantidad de géneros de HMA sí varía según la especie arbórea hospedera, reflejando un efecto diferencial de cada especie sobre la riqueza micorrízica asociada.

El índice de Shannon–Weaver complementa este patrón al mostrar diferencias altamente significativas entre especies ( $p = 0.0008$ ), evidenciando variaciones tanto en la diversidad como en la equitatividad de las comunidades micorrízicas. Los valores más altos se

registraron en Caoba ( $H' = 2.19$ ), Cumala ( $H' = 2.16$ ), Papelillo ( $H' = 2.11$ ) y Huayruro ( $H' = 2.05$ ), lo que indica comunidades altamente diversas y estructuralmente equilibradas. En contraste, Quinilla ( $H' = 1.33$ ) y Quillo bordón ( $H' = 1.41$ ) presentaron los valores más bajos, sugiriendo comunidades menos diversas y posiblemente dominadas por pocos géneros.

El índice de Simpson (D) confirmó también diferencias altamente significativas entre especies forestales ( $p = 0.0004$ ), permitiendo una interpretación más precisa de la dominancia dentro de las comunidades de HMA. Los valores más altos de D se observaron en Quillo bordón (0.34), Quinilla (0.32) y Tornillo (0.24), lo que indica mayor dominancia de uno o pocos géneros micorrízicos y, por tanto, comunidades menos equitativas. Por el contrario, Caoba y Cumala (0.12), Papelillo y Huayruro (0.14), Cedro (0.17), Lupuna (0.18) y Ana Caspi (0.19) presentaron valores significativamente menores, reflejando comunidades más equilibradas, con una distribución más homogénea de los géneros de HMA.

Podemos indicar que los índices de riqueza, diversidad (Shannon) y dominancia (Simpson) evidencian que la estructura y composición de las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares varían de manera consistente en función de la especie forestal hospedera, lo que demuestra un control biológico específico de cada especie arbórea sobre la micobiota del suelo.

Las especies Caoba, Cumala y Papelillo destacan por albergar comunidades micorrízicas más ricas, diversas y equitativas, lo que podría estar asociado a una mayor heterogeneidad de la rizósfera, características radiculares favorables y una interacción simbiótica más eficiente. En contraste, Quillo bordón y Quinilla presentaron comunidades

menos diversas y más dominadas, lo que sugiere diferencias en la arquitectura radical, la composición de exudados y la dinámica de nutrientes del suelo.

Desde una perspectiva aplicada, estos resultados indican que la selección de especies forestales que favorecen comunidades micorrízicas más diversas y equilibradas, como Caoba, Cumala y Papelillo, puede constituir una estrategia clave para el diseño de sistemas agroforestales sostenibles, contribuyendo a mejorar la fertilidad natural del suelo, la eficiencia en la absorción de nutrientes y la resiliencia ecológica de los ecosistemas tropicales.

La colonización micorrízica arbuscular constituye un indicador clave de la interacción simbiótica entre las plantas y los hongos del suelo, influyendo directamente en la salud, nutrición y adaptabilidad de las especies vegetales, especialmente en ecosistemas como los bosques tropicales primarios.

En este contexto, la presente sección interpreta los niveles de colonización observados en diez especies forestales maderables del bosque primario de Yurimaguas, con el propósito de identificar patrones de afinidad micorrízica y su posible relación con las condiciones edáficas del sitio. Esta información permite comprender la dinámica de la simbiosis HMA en especies nativas y sienta las bases para estrategias de restauración ecológica, manejo forestal sostenible y potencial aplicación biotecnológica de estos hongos como biofertilizantes.

El análisis de varianza mostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ( $p = 0.416 > 0.05$ ), indicando que las medias de colonización micorrízica entre las especies evaluadas son estadísticamente similares (Tabla 12).

**Tabla 12.** Analisis de varianza, para el porcentaje de colonización micorrízica

Fuente de variación	gl	SC	CM	F	Pr(>F)
Especie	9	615.8	68.42	1.049	0.416
Error	50	3258.5	65.17		
Total	59	3874.3			

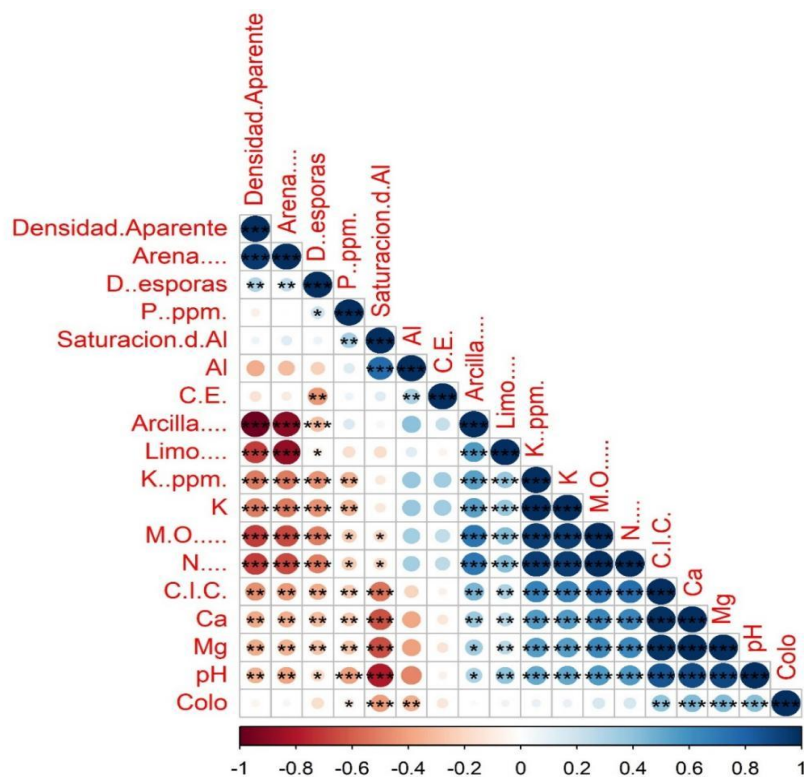
**Tabla 13.** Porcentaje de colonización micorrízica por cada especie forestal evaluada.

Especie forestal	Media (%)
Ana Caspi	10.86
Caoba	13.13
Cedro	10.82
Cumala	13.73
Huayruro	7.88
Lupuna	13.91
Papelillo	14.34
Quillo B.	7.64
Quinilla	10.73
Tornillo	9.86

Las medias fueron comparadas mediante la prueba de Scott-Knott con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ . La ausencia de letras de agrupación indica que no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre las especies forestales evaluadas

La colonización micorrízica no mostró diferencias estadísticas significativas entre las especies evaluadas ( $p > 0.05$ ), ya que todas se ubicaron dentro del mismo grupo estadístico (letra “a”). Sin embargo, en la tabla 13 se observaron ligeras variaciones en los valores promedio: Papelillo, Lupuna y Cumala registraron los mayores porcentajes de colonización (entre 13 y 14%), mientras que Huayruro y Quillo bordón presentaron los valores más bajos

(alrededor del 7–8%). Las demás especies mostraron valores intermedios, dentro de un rango relativamente estrecho.



**Figura 12.** *Análisis de correlación de Pearson entre las características fisicoquímicas del suelo, la densidad de esporas y la colonización micorrízica arbuscular*

Estos resultados sugieren que las condiciones del suelo y el ambiente favorecieron un nivel de colonización micorrízica homogéneo entre especies, sin que ninguna sobresalga estadísticamente sobre las demás. No obstante, la ligera ventaja en especies como Lupuna y Papelillo podría estar asociada a mayor afinidad simbiótica con los HMA o a condiciones edáficas específicas favorables para su micorrización. La uniformidad observada indica que los hongos micorrízicos arbusculares se establecen de manera consistente en las distintas especies forestales evaluadas, lo cual refuerza su potencial de uso como biofertilizantes en

sistemas forestales mixtos. La colonización micorrízica mostró una correlación positiva significativa con el pH del suelo ( $r \approx 0.75$ ,  $p < 0.01$ ), lo que indica que suelos menos ácidos, más cercanos a la neutralidad, favorecen una mayor colonización por hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Este efecto podría explicarse por la mayor estabilidad de las estructuras fúngicas y la mayor disponibilidad de nutrientes en rangos de pH moderados.

Asimismo, se observaron correlaciones positivas con los contenidos de calcio (Ca), magnesio (Mg) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) ( $r > 0.6$ ,  $p < 0.01$ ), lo cual sugiere que suelos más fértiles, con mayor capacidad de retener nutrientes, generan condiciones óptimas para el establecimiento y desarrollo de la simbiosis micorrízica. También se encontraron correlaciones positivas significativas, aunque ligeramente menores, con la materia orgánica, el nitrógeno (N) y el potasio (K), lo que refuerza la importancia de la calidad y fertilidad del suelo en la colonización de HMA.

Por otro lado, se evidenció una correlación negativa con la concentración de aluminio (Al) y la saturación de Al ( $r \approx -0.6$  a  $-0.7$ ,  $p < 0.01$ ), indicando que altos niveles de este elemento, comunes en suelos ácidos, pueden generar toxicidad y afectar negativamente la colonización micorrízica. De igual manera, se encontró una correlación negativa significativa con el contenido de arcilla ( $r \approx -0.7$ ,  $p < 0.01$ ), lo que sugiere que suelos más arcillosos, con menor aireación y mayor compactación, limitan el desarrollo del micelio extraradical.

En cuanto a la esporulación, se observaron correlaciones positivas con el contenido de arena ( $r \approx 0.4$  a  $0.6$ ), lo que sugiere que suelos más sueltos favorecen una mayor producción de esporas. Por el contrario, altos contenidos de arcilla, Al y saturación de Al ( $r < -0.4$ ) se

asociaron negativamente con la densidad de esporas, coincidiendo con los factores que también afectan la colonización.

Estos resultados indican que suelos con pH más elevado, buena fertilidad (alto contenido de materia orgánica, Ca, Mg, K y CIC) y bajos niveles de Al y arcilla favorecen tanto la colonización como la esporulación de los HMA, resaltando la influencia de las condiciones edáficas sobre la ecología funcional de estos hongos y su potencial aplicación en estrategias de biofertilización o biorremediación.

Especies como Lupuna, Papelillo y Tornillo presentan una diversidad más amplia de géneros de HMA, con algunas especies mostrando más de un género en mayor cantidad (por ejemplo, *Acaulospora* y *Ambispora* en Papelillo). En cambio, especies como Ana caspi y Caoba muestran una menor diversidad, con dominancia de un solo género o pocos géneros. Esto podría sugerir que algunas especies de árboles tienen una relación más específica o eficiente con ciertos HMA, mientras que otras pueden tener una mayor tolerancia a la variabilidad micorrízica.

## **4.2 Discusión de resultados.**

La caracterización ecológica de las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociadas a especies forestales maderables del bosque primario de Yurimaguas revela patrones claros de diferenciación estructural, funcional y taxonómica. Los resultados obtenidos confirman que la diversidad y composición de los HMA no responden a procesos aleatorios, sino a la interacción directa entre la identidad de la especie hospedera y las

propiedades edáficas del entorno, tal como ha sido ampliamente descrito en la literatura (Smith & Read, 2008; van der Heijden et al., 2015).

### **Diversidad y composición taxonómica de HMA**

Las diferencias significativas en riqueza (S) observadas entre las especies forestales, con valores más altos en Caoba, Cúmala y Papelillo, y valores reducidos en Quillo bordón y Quinilla, sugieren que los atributos funcionales del sistema radical de las especies influyen directamente en la colonización y establecimiento de los géneros de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Este patrón es coherente con estudios previos que destacan la importancia de la estructura radical en la promoción de la diversidad micorrízica. Raíces con mayor densidad, mayor superficie de absorción o una mayor diversidad de exudados pueden favorecer la coexistencia de múltiples géneros de HMA, ya que proporcionan una variedad de nichos ecológicos para su colonización (Pereira et al., 2020; Wiensczyk et al., 2002). En particular, las especies con mayor riqueza como Caoba y Cúmala podrían presentar condiciones de rizósfera más heterogéneas y favorables para la coexistencia de varios géneros, mientras que en especies como Quillo Bordón y Quinilla, con menor riqueza, la competencia y dominancia de unos pocos géneros podrían limitar la diversidad de HMA.

El análisis de la estructura comunitaria de los HMA, basado en la coexistencia de géneros pertenecientes a diferentes familias como *Diversisporales*, *Glomerales* y *Gigasporales*, refleja una comunidad ecológicamente compleja y funcionalmente diversa. La predominancia de géneros típicamente colonizadores como *Glomus* y *Funneliformis*, junto a géneros de exploración extendida como *Gigaspora* y *Dentiscutata*, sugiere una

complementariedad ecológica en la adquisición de nutrientes. Esto indica que las especies de HMA presentes pueden especializarse en diferentes mecanismos de adquisición de recursos en función de las condiciones edáficas del suelo, lo que promueve una diversidad funcional que contribuye a la estabilidad y resiliencia de las comunidades (Oehl et al., 2010; Vega-Herrera et al., 2023).

La alta frecuencia de los géneros *Glomus* y *Acaulospora* en casi todas las especies forestales coincide con reportes previos para bosques amazónicos y suelos ácidos, donde estos géneros son reconocidos por su alta tolerancia al pH bajo y su eficiencia en la captación de fósforo (Oehl et al., 2011; Sousa et al., 2018). Estos resultados refuerzan la idea de que ciertas especies de HMA, como *Acaulospora*, podrían ser especialmente eficientes en su capacidad para colonizar suelos tropicales con pH ácido, optimizando la absorción de nutrientes clave para las plantas.

Además, la presencia de géneros menos abundantes como *Kuklospora* y *Pacispora* en ciertas especies forestales, como Cedro y Tornillo, indica una diversidad funcional latente. Estos géneros, con bajas abundancias, pero una distribución focalizada, podrían estar asociados a microhábitats edáficos específicos o condiciones de estrés físico-químico que favorecen su proliferación en ciertos suelos o bajo determinadas condiciones ecológicas. La menor competencia de estos géneros con las especies dominantes podría permitirles ocupar nichos ecológicos más específicos o tolerar condiciones de suelo más extremas, como alta salinidad, baja disponibilidad de nutrientes o suelos más compactos (Amir et al., 2023; Leifheit et al., 2021).

En términos de la estructura de dominancia, el índice de Simpson confirmó la existencia de diferencias significativas en la dominancia de las comunidades de HMA, con especies como Quillo Bordón y Quinilla mostrando un índice más bajo de dominancia ( $D < 0.75$ ), lo que sugiere una mayor equidad en la distribución de los géneros en sus rizósferas. En contraste, especies como Caoba, Cúmala y Papelillo presentaron valores más altos ( $D > 0.83$ ), indicando una alta dominancia de unos pocos géneros, como *Glomus* y *Funneliformis*, que pueden ser más competitivos o mejor adaptados a las condiciones de sus rizósferas. Este patrón resalta cómo las condiciones microambientales (como la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes) y las interacciones simbióticas entre las raíces y los HMA determinan las dinámicas de dominancia y equidad en las comunidades micorrízicas (Oehl et al., 2010).

De manera complementaria, el índice de Simpson (D) reforzó este patrón al evidenciar una mayor dominancia en Quillo bordón, Quinilla y Tornillo, especies que conformaron un grupo estadísticamente distinto del resto. Esta dominancia sugiere la selección de géneros fúngicos altamente competitivos o especializados, probablemente mejor adaptados a las características fisicoquímicas del suelo o a la arquitectura radical de estas especies. Estudios previos en ecosistemas amazónicos han señalado que condiciones como bajo pH, limitada disponibilidad de nutrientes o una menor heterogeneidad edáfica pueden promover la dominancia de pocos taxones micorrízicos, reduciendo la equidad comunitaria (Rodríguez-Morelos et al., 2014; González et al., 2018; Rengifo Del Aguila et al., 2022).

Finalmente, el índice de Shannon mostró una alta diversidad en la mayoría de las especies, con Caoba, Cúmala y Papelillo obteniendo los valores más altos. Esto indica una

mayor equidad en la distribución de los géneros micorrízicos, mientras que Quillo bordón y Quinilla presentaron una baja diversidad debido a la dominancia de pocos géneros. Estos resultados sugieren que la estructura de la comunidad de HMA en las especies forestales varía en función de los atributos ecológicos y la competitividad de los géneros presentes en la rizósfera.

### **Colonización micorrízica**

Aunque el porcentaje de colonización no mostró diferencias significativas entre especies, se identificaron tendencias claras. Papelillo, Lupuna y Cúmala presentaron los porcentajes más altos, lo que podría estar asociado a una mayor compatibilidad funcional planta–HMA o a características radiculares que facilitan la penetración y el desarrollo del micelio.

En contraste, Quillo bordón y Huayruro mostraron niveles de colonización menores, posiblemente por limitaciones fisiológicas de la raíz o condiciones edáficas particulares como baja disponibilidad de fósforo, altos niveles de aluminio o bajo contenido de materia orgánica, factores que influyen directamente en la formación de micorrizas (Damián-Carrión et al., 2024; Zhao et al., 2023)

### **Implicancias ecológicas y aplicadas**

Los resultados confirman que la identidad de la especie forestal es un determinante clave en la estructura y funcionamiento de las comunidades micorrícicas del bosque primario

de Yurimaguas. Especies como Caoba, Cúmala y Papelillo promueven comunidades más diversas, equitativas y funcionalmente complementarias, lo cual podría favorecer su capacidad de adaptación y crecimiento en suelos de baja fertilidad.

Por el contrario, especies como Quillo bordón y Quinilla albergan comunidades más simples y dominadas, lo que refleja una interacción más específica o mayor sensibilidad a las condiciones edáficas.

La diversidad y estructura de las comunidades de HMA se consolidan así como indicadores sensibles de la calidad biológica del suelo, y representan herramientas prometedoras para programas de reforestación, restauración ecológica y manejo sostenible de bosques tropicales, especialmente en regiones amazónicas donde la fertilidad natural del suelo es limitada (Moína-Quimí et al., 2018; Smith & Read, 2008; Vega-Herrera et al., 2023).

## CONCLUSIONES.

- Se registró una comunidad micorrízica caracterizada por la dominancia de géneros generalistas como *Glomus*, *Funneliformis*, *Paraglomus* y *Acaulospora*, acompañados por un conjunto de géneros menos frecuentes que aportan diversidad funcional.
- Los índices de riqueza, diversidad (Shannon–Weaver) y dominancia (Simpson) evidenciaron diferencias significativas en la estructura comunitaria de los HMA según la especie forestal hospedera, lo que demuestra que cada especie arbórea ejerce un control biológico específico sobre la micobiota del suelo.
- La diversidad de hongos micorrízicos arbusculares varía según la especie de árbol en el bosque. Las especies de Caoba, Cumala y Papelillo tienen más tipos de hongos y un índice más alto de diversidad, mientras que Quinilla y Quillo tienen menos variedad y son más dominantes.
- El porcentaje de colonización micorrízica en las especies forestales no mostró diferencias significativas. Todas las especies tuvieron valores de colonización entre 7 % y 14 %.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios complementarios que profundicen en la influencia de los factores edáficos (pH, textura del suelo, materia orgánica y disponibilidad de nutrientes) sobre la diversidad, abundancia y estructura de las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares en especies forestales maderables.
2. Ampliar la investigación a otros bosques primarios y secundarios de la Amazonía peruana, con el fin de comparar patrones de diversidad y colonización micorrízica y evaluar la consistencia espacial de los resultados obtenidos.
3. Promover la conservación y el uso de especies forestales como Caoba, Cumala y Papelillo, que presentaron comunidades micorrízicas más ricas, diversas y equitativas, en programas de reforestación, restauración ecológica y sistemas agroforestales sostenibles.
4. Fomentar la capacitación de técnicos forestales y productores locales sobre la importancia ecológica y funcional de los hongos micorrízicos arbusculares, destacando su rol en la sostenibilidad de los suelos y el manejo responsable de los recursos forestales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Aguilera-Gómez, L., Portugal, V. O., Arriaga, R., & Contreras, A. R. (2007). Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 300–306.
- Amir, H., Cavaloc, Y., Crossay, T., Bourles, A., Gensous, S., Lagrange, A., Burtet-Sarramegna, V., & Guentas, L. (2023). Importance and roles of arbuscular mycorrhizal fungi in New Caledonian ultramafic soils. *Botany Letters*, 170(3), 449–458  
<https://doi.org/10.1080/23818107.2022.2160808>
- Andrade-Torres, A. (2010). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos. *Ciencia*, 61, 84–90.
- Anyonge, C. H., & Roshetko, J. M. (2003). Farm-level timber production: orienting farmers towards the market. *Unasylva*, 212.  
<http://apps.worldagroforestry.org/sea/Publications/files/journal/JA0215-05.pdf>
- Arevalo, Y. (2018). “Evaluación y Caracterización de Hongos Micorrízicos Arbusculares en Tres Agroecosistemas y Dos Bosques en las Provincias de Alto Amazonas y Lamas”. [Universidad Nacional Agraria la Molina].  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3247/arevalo-aranda-yuri-gandhi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bonilla, E., & Rodríguez, P. (1997). Más allá del dilema de los métodos. La investigación en ciencias sociales. In *Más allá del dilema de los métodos. La investigación en ciencias sociales* (p. 334).
- Brundrett, M. C., & 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>
- Camarena-Gutiérrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18(3), 409–421.

<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>

Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., & Cruz-Ortega, R. (2022).

Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botanica Mexicana*, 129.

<https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>

Chiquito Noboa, I., Naranjo Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2018). Presencia de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en especies representativas del bosque seco tropical del litoral ecuatoriano. *Bionatura*, 3(1).

<https://doi.org/10.21931/RB/2018.03.01.7>

Corazon-Guivin, M. A., Vallejos-Torres, G., Vallejos-Tapullima, A., Tenorio-Cercado, M. Á., Caballero, W. M., Marín, C., Santos, V. M., Alves da Silva, & Oehl, F. (2022). *Rhizoglossum cacao*, a new species of the *Glomeraceae* from the rhizosphere of *Theobroma cacao* in Peru, with an updated identification key for all species attributed to *Rhizoglossum*. *Nova Hedwigia*, 115(1–2), 99–115.

[https://doi.org/10.1127/nova\\_hedwigia/2022/0698](https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2022/0698)

Da Silva, R. (2010). Colonização micorrízica arbuscular em floresta secundária na Amazônia sob remoção de serrapilha e irrigação do solo. Universidade Federal do Pará.

Damián-Carrión, D. A., Silva-Padilla, C. F., Pilco-Pomagualli, M. F., Cargua-Catagña, F. E., Reyes Reyes, J., & Paredes-Arcos, F. (2024). Evaluación de Hongos Micorrízicos Arbusculares asociados con *Miconia bracteolata* Bonpl caso de estudio de Bosque Alto Andino, Ecuador. *Bionatura Journal*, 1(3), 1–19.

<https://doi.org/10.70099/BJ/2024.01.03.10>

de la Sota Ricaldi, A. M., Rengifo del Águila, S., Blas Sevillano, R., López-García, Á., & Corazon-Guivin, M. A. (2023). Beta Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Communities Increases in Time after Crop Establishment of Peruvian Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*). *Journal of Fungi*, 9(2), 194.

<https://doi.org/10.3390/jof9020194>

de Oliveira Loconte, C. (2023). The Volumetric Sustainability of Timber-Based Tropical Forest Management (pp. 51–87).

[https://doi.org/10.1007/978-981-99-2846-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-99-2846-0_3)

- Delgado- Mera, E. (2023). Efecto protector de hongos micorrícicos arbusculares sobre la pudrición de la raíz causada por *Fusarium verticillioides* en *Plukenetia volubilis* L. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Nacional de San Martín.
- FAO, & MINEC. (2023). Uso de micorrizas y sus beneficios Guía Técnica.  
<https://doi.org/10.4060/cc3969es>
- 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)
- González, J. B., Petipas, R. H., Franken, O., Kiers, E. T., Veblen, K. E., & Brody, A. K. (2018). Herbivore removal reduces influence of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and tolerance in an East African savanna. *Oecologia*, 187(1), 123–133.  
<https://doi.org/10.1007/s00442-018-4124-4>
- González-Mendoza, D., & Zapata-Pérez, O. (2008). Mecanismos de tolerancia a elementos potencialmente tóxicos en plantas. *Botanical Sciences*, 82, 53–61.  
<https://doi.org/10.17129/botsci.1781>
- Guerrero Barjora, M. (2022). Grupo Focal. Inteligência Para Inovação: Métodos, Técnicas e Ferramentas, 1(2), 37–51.  
<https://doi.org/10.31560/pimentacultural/2022.95842.2>
- Herrera, I. (2019). Ocurrencia de hongos de micorriza arbuscular en caoba (*Swietenia macrophylla*), UCAYALI – 2018. Tesis Para Obtener El Grado Académico de: Ingeniero Agronomo, 96.  
<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2557/23177.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hoeksema, J. D., Bever, J. D., Chakraborty, S., Chaudhary, V. B., Gardes, M., Gehring, C. A., Hart, M. M., Housworth, E. A., Kaonongbua, W., Klironomos, J. N., Lajeunesse, M. J., Meadow, J., Milligan, B. G., Piculell, B. J., Pringle, A., Rúa, M. A., Umbanhowar, J., Viechtbauer, W., Wang, Y.-W., ... Zee, P. C. (2018). Evolutionary history of plant hosts and fungal symbionts predicts the strength of mycorrhizal mutualism. *Communications Biology*, 1(1), 116. <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0120-9>

- IIAP - Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana. (2018). Maderas del Perú. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/cdinvestigacion/inia/inia-p4/inia-p4.htm#TopOfPage>
- Krebs, C. (1985). Ecología. Estudio de la distribución y abundancia Segunda Edición 1985. 21(4), 162.
- Kuhar, F. , C. V., & Papinutti, L. (2013). Morfologías y estructuras de los hongos. Revista Boletín Biológica, 28(7), 1–8.
- Leifheit, E. F., Lehmann, A., & Rillig, M. C. (2021). Potential Effects of Microplastic on Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.626709>
- Lenoir, I., Fontaine, J., & Lounès-Hadj Sahraoui, A. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review. *Phytochemistry*, 123, 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.002>
- Macedo, L. (2019). Identificación, nivel de propagación y colonización de hongos micorrízicos arbusculares asociados a *Manilkara bidentata* (quinilla colorada) en un bosque húmedo tropical en la zona de Macuya, Huánuco, Amazonia Peruana. In Tesis para optar el título de ingeniero agroforestal acuícola.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>
- Mahmoudi, N., Cruz, C., Mahdhi, M., Mars, M., & Caeiro, M. F. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi in soil, roots and rhizosphere of *Medicago truncatula* : diversity and heterogeneity under semi-arid conditions. *PeerJ*, 7, e6401. <https://doi.org/10.7717/peerj.6401>
- Mena Echevarría, A., Méndez Cortes, H., Ramírez Tobías, H. M., & Rojas Velázquez, Á. N. (2021). Comparación de dos suelos para la producción de inoculantes micorrízicos en San Luis Potosí, México. *Scientia Fungorum*, 51, e1315. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1315>
- Meza B., F., Díaz O., E., Escobar T., H., Belezaca Pinargote, C., Cachipundo C., J., Meza B., G., López M., F., Meza B., C., Meza B., J., Cachipundo C., J., & Cabrera V., R. (2018). Identificación de Hongos Micorrízicos en Plantaciones de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, Rivep, 28(4), 969–975.

- Moína-Quimí, E., Oviedo-Anchundia, R., Nieto-Barcelona, S., Herrera-Samaniego, P., & Barcos-Arias, M. (2018). Evaluación de los Hongos Micorrízicos Arbusculares de zonas del trópico húmedo del Ecuador. *Bionatura*, 3(1).  
<https://doi.org/10.21931/RB/2018.03.01.9>
- Moukarzel, R., Ridgway, H. J., Guerin-Laguette, A., & Jones, E. E. (2020). An improved clearing and staining protocol for evaluation of arbuscular mycorrhizal colonisation in darkly pigmented woody roots. *New Zealand Plant Protection*, 73, 33–39.  
<https://doi.org/10.30843/nzpp.2020.73.11711>
- Oehl, F., Laczko, E., Bogenrieder, A., Stahr, K., Bösch, R., van der Heijden, M., & Sieverding, E. (2010). Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5), 724–738.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.01.006>
- Oehl, F., Sieverding, E., Palenzuela, J., Ineichen, K., & da Silva, G. A. (2011). Advances in *Glomeromycota* taxonomy and classification. *IMA Fungus*, 2(2), 191–199.  
<https://doi.org/10.5598/imafungus.2011.02.02.10>
- Osorio, N. W. (2012). Ph del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 4–7.
- Padilha, R. O. (2022). Grupo Focal. In *Inteligência para inovação: métodos, técnicas e ferramentas* (pp. 37–51). Pimenta Cultural. <https://doi.org/10.31560/pimentacultural/2022.95842.2>
- Perea Rojas, Y. del C., Arias, R. M., Medel Ortiz, R., Trejo Aguilar, D., Heredia, G., & Rodríguez Yon, Y. (2019). Effects of native arbuscular mycorrhizal and phosphate-solubilizing fungi on coffee plants. *Agroforestry Systems*, 93(3), 961–972.  
<https://doi.org/10.1007/s10457-018-0190-1>
- Pereira, S., Leal, I. R., Tabarelli, M., & Santos, M. G. (2020). Intense mycorrhizal root colonization in a human-modified landscape of the Caatinga dry forest. *Forest Ecology and Management*, 462, 117970. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117970>
- Pineda-Lázaro, A. J., Vallejos-Tapullima, A., Hernández-Amasifuen, A. D., Carballar-Hernández, S., Imán-Correa, S., Carvajal-Vallejos, F. M., Ríos-Ramírez, O., & Corazon-Guivin, M. A. (2024). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with *Myrciaria dubia* in the Amazonia Region, Peru. *Advances in Agriculture*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/2024/9977517>

- Rengifo Del Aguila, S., De la Sota-Ricaldi, A. M., Corazon-Guivin, M. A., & López-García, Á. (2022). Phylogenetic Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities Increases with Crop Age in *Coffea arabica* Plantations. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(3), 3291–3303. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00887-9>
- Ríos-Ruiz, W., Barrios-López, L., Rojas-García, J., & Valdez-Nuñez, R. (2019). Mycotrophic capacity and diversity of native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from degraded soils. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 99–108. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.11>
- Rivillas, C. A., Calle, C. M., & Ángel, C. A. (2019). Micorrizas Arbusculares. In *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 52–79). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/10791/0005\\_3](https://doi.org/10.38141/10791/0005_3)
- Rodriguez, J. (2001). Efecto del biofertilizante Mycoral (micorriza arbuscular) en el desarrollo del café (*Coffea arabica L.*) en vivero en Zamorano. *Ciencia y Producción Agropecuaria*, 1–59.
- Rodríguez-Morelos, Víctor H; Soto-Estrada Alejandra, Pérez-Moreno, J., FrancoRamírez, A., & 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 Natura*, 87.
- Ruscitti, M., Arango, M., & Beltrano, J. (2017). Improvement of copper stress tolerance in pepper plants (*Capsicum annuum L.*) by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 29(1), 37–49. <https://doi.org/10.1007/s40626-016-0081-7>
- Solomon, W., & Janda, T. (2024). Plant Physiology and Biochemistry Unveiling the significance of rhizosphere : Implications for plant growth , stress response , and sustainable agriculture. 206(December 2023), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108290>

- Sánchez de Prager, M., Posada, R. H., Velásquez Pomar, D., & Narvaez Castillo, M. (2010). Metodologías básicas para el trabajo con micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular (Issue May).
- Sánchez, T. (2017). Efecto de inóculos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas clonales de café (*coffea arabica l.*) variedad caturra en condiciones de invernadero, rodríguez de mendoza, región amazonas. In tesis de grado.
- Santafe-Pulgarín, F., & Posada Almanza, R. (2023). Micorrizas arbusculares asociadas a la especie en peligro de extinción <i>Gustavia romeroi</i> (*Lecythidaceae*). *Caldasia*, 46(1), 45–58. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v46n1.98555>
- Smith, S., & Read, D. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>
- Soteras, F., Menoyo, E., Grilli, G., & Becerra, A. G. (2019). Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities of High Mountain Ecosystems of South America: Relationship with Microscale and Macroscale Factors (pp. 257–275). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15228-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15228-4_13)
- Sousa, N. M. F., Veresoglou, S. D., Oehl, F., Rillig, M. C., & Maia, L. C. (2018). Predictors of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in the Brazilian Tropical Dry Forest. *Microbial Ecology*, 75(2), 447–458. <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1042-7>
- Trouvelot, A., Kough, J. L., & Gianinazzi, V. (1986). Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthode d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*, 217–221.
- Vallejos Torres, G., Sánchez, T., García, M. A., Trigos, M., & Arévalo, L. A. (2019). Efecto de hongos formadores de micorrizas arbusculares en clones de <i>Coffea arabica</i>, variedad caturra en Perú. *Acta Agronómica*, 68(4), 278–284. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.72117>

- Vallejos-Torres, G., Ruíz-Valles, R., Chappa-Santa María, C. E., Gaona-Jiménez, N., & Marín, C. (2021). Una alta diversidad de hongos micorrízicos arbusculares influye en la absorción de cadmio y crecimiento vegetal del cacao. *Bioagro*, 34(1), 75–84.  
<https://doi.org/10.51372/bioagro341.7>
- Valverde Otárola, J. C., & Arias, D. (2020). Efectos del estrés hídrico en crecimiento y desarrollo fisiológico de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. *Colombia Forestal*, 23(1).  
<https://doi.org/10.14483/2256201X.14786>
- van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*, 205(4), 1406–1423. <https://doi.org/10.1111/nph.13288>
- Vega-Herrera, S. S., Sidney L. Stürmer, & Cláudia R. Damiani. (2023). *Glomeromycota* in Peru: an overview and future approaches. *Sydowia*, 75, 87–101.
- Veiga de cabo, J., Verdejo, M., & Dias, E. (2008). Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño. 54, 1989–7790.
- Wang, M., & Jiang, P. (2015). Colonization and Diversity of AM Fungi by Morphological Analysis on Medicinal Plants in Southeast China. *The Scientific World Journal*, 2015(1).  
<https://doi.org/10.1155/2015/753842>
- Wiensczyk, A. M., Gamiet, S., Durall, D. M., Jones, M. D., & Simard, S. W. (2002). Ectomycorrhizae and forestry in British Columbia: A summary of current research and conservation strategies. *Journal of Ecosystems and Management*, 1–20.  
<https://doi.org/10.22230/jem.2002v2n1a224>
- Wu, Q. S., & Zou, Y. N. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and tolerance of drought stress in plants. *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants*, 25–41.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0_2)
- Wu, Q.-S., & Zou, Y.-N. (2017). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Tolerance of Drought Stress in Plants. In *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants* (pp. 25–41). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0_2)

- Yuan, R., Zhang, N., & Zhang, Q. (2024). The impact of habitat loss and fragmentation on biodiversity in global protected areas. *Science of The Total Environment*, 931, 173004. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173004>
- Zhang, J., Wang, F., Che, R., Wang, P., Liu, H., Ji, B., & Cui, X. (2016). Precipitation shapes communities of arbuscular mycorrhizal fungi in Tibetan alpine steppe. *Scientific Reports*, 6(1), 23488. <https://doi.org/10.1038/srep23488>
- Zhao, W., Chen, Z., Yang, X., Sheng, L., Mao, H., & Zhu, S. (2023). Metagenomics reveal arbuscular mycorrhizal fungi altering functional gene expression of rhizosphere microbial community to enhance *Iris tectorum*'s resistance to Cr stress. *Science of The Total Environment*, 895, 164970. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164970>

## **ANEXOS**


## ANEXO 01: Análisis de suelo de la zona muestreada.

Nro	PROCEDENCIA y/o AGRICULTOR	Análisis Físico						Análisis Químico												
		Textura			Clase Textural	Densidad Aparente	pH 1 : 1	Conduc- tividad Eléctrica	%Carbonato	%Materia orgánica	Elementos Disponibles			Capac. de Intercambio	Elementos Cambiables					Saturación de Al %
		Arena %	Arcilla %	Limo %							N %	P ppm	K ppm		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	
		meq / 100 gr de suelo																		
1	A1: Ana caspi	60.83	15.69	23.48	Franco Arenoso	1.48	4.66	0.00063	-	1.496	0.067	4.94	126.13	5.11	1.60	0.24	0.05	0.32	2.90	56.8%
2	A1: Caoba	32.90	35.62	31.48	Franco Arcilloso	1.31	7.16	0.00144	-	8.519	0.383	6.79	449.57	57.75	49.60	6.94	0.06	1.15	Trazas	0%
3	A1: Cedro	42.90	21.62	35.48	Franco	1.40	4.79	0.00067	-	1.543	0.069	6.50	126.05	5.20	0.80	0.12	0.05	0.32	3.90	75.1%
4	A1: Cumala B	24.90	39.54	35.56	Franco Arcilloso	1.28	5.00	0.00858	-	3.174	0.143	15.19	142.06	6.21	2.60	0.39	0.06	0.36	2.80	45.1%
5	A1: Huayruro	44.90	29.47	25.63	Franco Arcillo Arenoso	1.36	4.57	0.00120	-	3.511	0.158	14.56	149.91	4.46	1.60	0.22	0.06	0.38	2.20	49.3%
6	A1: Lupuna	78.83	11.62	9.55	Franco Arenoso	1.56	4.18	0.00118	-	1.137	0.051	13.97	127.72	2.36	0.20	0.28	0.05	0.33	1.50	63.6%
7	A1: Papelillo C	50.90	19.54	29.56	Franco Arenoso	1.43	5.70	0.00064	-	1.370	0.062	4.03	126.49	1.88	0.40	0.60	0.05	0.32	0.50	26.6%
8	A1: Quinilla C	72.90	13.54	13.56	Franco Arenoso	1.53	5.02	0.00836	-	1.019	0.046	11.98	128.63	3.58	2.00	0.30	0.05	0.33	0.90	25.1%
9	A1: Quillo B	56.18	21.83	21.99	Franco Arcillo Arenoso	1.43	4.66	0.00709	-	1.203	0.054	18.19	127.30	4.79	0.80	0.11	0.05	0.33	3.50	73.1%
10	A1: Tornillo	64.26	15.76	19.98	Franco Arenoso	1.49	4.57	0.00142	-	0.930	0.042	4.60	129.44	3.77	1.20	0.18	0.05	0.33	2.00	53.1%

Nro	PROCEDENCIA y/o AGRICULTOR	Análisis Físico					Análisis Químico													
		Textura			Clase Textural	Densidad Aparente	pH 1 : 1	Conduc- tividad Eléctrica	% Carbonatos	% Materia orgánica.	Elementos Disponibles			Capac. de Intercambio	Elementos Cambiables					Saturación de Al %
		Arena %	Arcilla %	Limo %							N %	P ppm	K ppm		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	
													meq / 100 gr de suelo							
11	A2: Ana caspi	66.25	9.76	23.99	Franco Arenoso	1.56	5.38	0.00095	-	1.023	0.046	8.99	128.60	4.10	2.80	0.42	0.05	0.33	0.50	12.2%
12	A2: Caoba	38.18	29.83	31.99	Franco Arcilloso	1.34	7.01	0.00283	-	8.157	0.367	5.06	416.41	44.45	38.00	5.32	0.07	1.07	Trazas	0%
13	A2: Cedro	28.25	27.76	43.99	Franco	1.34	5.10	0.00108	-	2.615	0.118	7.81	132.48	8.63	5.60	0.84	0.05	0.34	1.80	20.9%
14	A2: Cumala B	68.25	17.76	13.99	Franco Arenoso	1.48	4.85	0.00808	-	1.010	0.049	3.67	128.71	3.70	2.00	0.32	0.05	0.33	1.00	27.0%
15	A2: Huayruro	24.26	39.83	35.91	Franco Arcilloso	1.28	4.86	0.00999	-	10.526	0.474	4.51	665.96	13.36	1.20	0.18	0.08	1.70	10.20	76.4%
16	A2: Lupuna	38.18	35.83	25.99	Franco Arcilloso	1.32	5.46	0.00121	-	3.521	0.158	9.54	150.17	11.10	8.40	1.26	0.06	0.38	1.00	9.0%
17	A2: Papelillo	65.82	19.69	14.49	Franco Arenoso	1.46	4.39	0.00114	-	2.155	0.097	8.18	127.79	7.02	1.60	0.24	0.05	0.33	4.80	68.4%
18	A2: Quillo B	47.97	31.54	20.49	Franco Arcillo Arenoso	1.36	4.32	0.00229	-	4.055	0.182	16.76	165.85	8.74	2.40	0.36	0.05	0.42	5.50	63.0%
19	A2: Quinilla C	39.97	35.47	24.56	Franco Arcilloso	1.32	4.79	0.00119	-	2.634	0.118	15.37	132.73	9.01	2.80	0.42	0.05	0.34	5.40	59.9%
20	A2: Tornillo	47.97	19.54	32.49	Franco	1.43	4.68	0.00075	-	0.578	0.026	14.96	133.71	4.44	1.60	0.24	0.06	0.34	2.20	49.6%

# Dayly Tarsila Rojas Tapullima

## INFORME DE TESIS - Dayly Tarsila Rojas Tapullima PDF.pdf

 Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::15388:551184576

Fecha de entrega

30 ene 2026, 6:00 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

30 ene 2026, 6:03 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

INFORME DE TESIS - Dayly Tarsila Rojas Tapullima PDF.pdf

Tamaño del archivo

1.6 MB

63 páginas

13.246 palabras

76.282 caracteres




## 6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.