



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Tesis

**Diversidad de Hongos Micorrízicos  
Arbusculares en diferentes ecosistemas de  
cacao (*Theobroma cacao*) en San Martín,  
Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

**Autor:**

Deyvis Córdova Sinarahua  
<https://orcid.org/0000-0002-4191-5894>

**Asesor:**

Ing.M.Sc Mike Anderson Corazón Guivin  
<https://orcid.org/0000-0001-6027-4255>

Tarapoto, Perú

2023



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Tesis

**Diversidad de Hongos Micorrízicos  
Arbusculares en diferentes ecosistemas de  
cacao (*Theobroma cacao*) en San Martín,  
Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

**Autor:**

Deyvis Córdova Sinarahua

**Sustentado y aprobado 27 de febrero de 2023 por los jurados:**

**Presidente de Jurado**  
Dr. Agustín Cerna Mendoza

**Secretario de Jurado**  
Dr. Geomar Vallejos Torres

**Vocal de Jurado**  
Ing. M. Sc. José Carlos Rojas  
García

**Asesor**  
Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazón  
Guivin



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE SAN MARTIN

FACULTAD DE CIENCIAS  
AGRARIAS

"Año de la Unidad, la paz y el desarrollo"

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

### Para optar el Título de Ingeniero Agrónomo Modalidad Informe de Tesis

En la Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, Auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias- Ciudad Universitaria, a las 10:00 horas, del día 27 del mes febrero del año dos mil veintitrés, se reunió el Jurado de Tesis, integrado por:

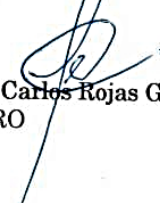
PRESIDENTE : Dr. Agustín Cerna Mendoza  
SECRETARIO : Dr. Geomar Vallejos Torres  
MIEMBRO : Ing. M. Sc. José Carlos Rojas García  
ASESOR : Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazon Guivin


Para evaluar el Informe Técnico de experiencia profesional titulado: " Diversidad De Hongos Micorrízicos Arbusculares En Diferentes Ecosistemas De Cacao (Theobroma Cacao) En San Martín, Amazonas, Cusco Y Ayacucho – Perú.", Presentado por el Bachiller en Agronomía: Deyvis Cordova Sinarahua.

Los Miembros del Jurado de Informe técnico, después de haber observado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica, luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran..... Aprobado ..... con el calificativo de Muy Bueno (17) en fe de lo cual se firmó la presente acta, siendo las 12:20 horas del mismo día, dándose por terminado el acto de sustentación.

  
Dr. Agustín Cerna Mendoza  
PRESIDENTE

  
Dr. Geomar Vallejos Torres  
SECRETARIO

  
Ing. M. Sc. José Carlos Rojas García  
MIEMBRO

  
Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazon Guivin  
ASESOR

  
Deyvis Cordova Sinarahua  
SUSTENTANTE

RECIBIDO POR: Deyvis Cordova Sinarahua  
DNI N.° 75946715 FECHA: 27-02-2023

## Declaratoria de autenticidad



**Deyvis Córdova Sinarahua**, con DNI N°75946715, egresados de la Escuela Profesional de Agronomía Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares en diferentes ecosistemas de Cacao (*Theobroma cacao*) en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 27 de febrero de 2023.

  
  
-----  
Deyvis Córdova Sinarahua  
DNI N° 75946715

## Ficha de identificación

<p><b>Título del proyecto</b>  <b>Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú</b></p>	<p><b>Área de investigación:</b> Ciencias Agrarias.  <b>Línea de investigación:</b> Gestión Integral y Sostenible de los Recursos Naturales.  <b>Sublínea de investigación:</b> Biotecnología, protección de cultivos, bioprospección y recursos genéticos.  <b>Grupo de investigación:</b>  Resolución Decanal N° 041-2022-UNSM/FCA  <b>Tipo de investigación:</b>  Básica <input checked="" type="checkbox"/>, Aplicada <input type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Autor:</b>  <b>Deyvis Córdova Sinarahua</b></p>	<p>Facultad de Ciencias Agrarias  Escuela Profesional de Agronomía  <a href="https://orcid.org/0000-0002-4191-5894">https://orcid.org/0000-0002-4191-5894</a></p>
<p><b>Asesor:</b>  <b>Ing. M. Sc Mike Anderson</b>  <b>Corazón Guivin</b></p>	<p><b>Dependencia local de soporte:</b>  Facultad de Ciencias Agrarias  Escuela Profesional de Agronomía  Unidad o Laboratorio Agronomía  <a href="https://orcid.org/0000-0001-6027-4255">https://orcid.org/0000-0001-6027-4255</a></p>

## Dedicatoria

Queridos familiares, amigos y mentores,

Hoy, con gran emoción y gratitud, presento esta tesis que marca el fin de una etapa y el comienzo de nuevos horizontes en mi vida académica y profesional. Pero este logro no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de cada uno de ustedes.

A mi familia, mi primer y más valioso pilar, gracias por su amor, comprensión y aliento constante a lo largo de esta travesía. Han sido mi fuente de inspiración y mi refugio en los momentos de duda. A mis padres, por su dedicación y sacrificio, siempre creyendo en mis sueños y brindándome las herramientas necesarias para alcanzarlos.

A mis amigos, quienes han sido mi red de apoyo y alegría a lo largo de todos estos años. Sus palabras motivadoras, su compañía y su ánimo incansable me han impulsado a superar cualquier obstáculo. Gracias por entender mis ausencias y por celebrar mis logros como si fueran propios

A mis mentores y profesores, verdaderos guías en mi formación académica, gracias por su sabiduría, paciencia y dedicación. Cada consejo, cada enseñanza, ha dejado una huella imborrable en mi camino. Me han inspirado a buscar siempre la excelencia y a nunca conformarme con menos.

Agradezco también a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a este proyecto, ya sea con su participación en entrevistas, su colaboración en la recolección de datos o su apoyo moral. Su valiosa contribución ha enriquecido mi trabajo y ha dado forma a mis conclusiones.

Finalmente, quiero dedicar este logro a mí mismo, porque he aprendido a creer en mis capacidades y a perseverar a pesar de los desafíos. Este es el resultado de mi esfuerzo, mi pasión y mi compromiso. Sé que esta tesis es solo el comienzo de un camino lleno de oportunidades y desafíos, pero estoy listo para enfrentarlos gracias a todo lo que he aprendido y a las personas maravillosas que me han acompañado en este viaje.

## Agradecimientos

Al equipo humano del Laboratorio de Biología y Genética Molecular liderado por el Ing. M. Sc Mike Anderson Corazón Guivin; a los asistentes Blga. Rengifo Del Águila Sofia; Biol. Pezo Torres María Nelly, por todo el apoyo brindado durante la ejecución el proyecto.

Al proyecto “Uso potencial de inoculantes micorrícicos nativos en la regulación del transporte de cadmio suelo-planta en el cacao peruano (*Theobroma cacao* L.), aprobado mediante Contrato: N° 163-2020-FONDECYT ejecutado por el Laboratorio de Biología y Genética Molecular de la Universidad Nacional de San Martín.

A la Universidad Nacional de San Martín (UNSM), a través del Instituto de Investigación y Desarrollo por el aporte financiero para el desarrollo de la presente investigación con Resolución N° 910-2021-UNSM/CU- R.



## Índice general

Ficha de identificación.....	6
Dedicatoria .....	7
Agradecimientos .....	8
Índice general.....	9
Índice de tablas .....	11
Índice de figuras.....	13
RESUMEN .....	15
ABSTRACT .....	16
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN .....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	19
2.1. Fundamentos teóricos.....	20
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación .....	28
Contexto de la investigación.....	28
3.1.1 Autorizaciones y permisos.....	31
3.1.2 Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	31
3.1.3 Aplicación de principios éticos internacionales.....	31
3.2. Sistema de variables .....	31
3.2.1 Variables principales.....	31
3.3 Procedimientos de la investigación.....	32
3.3.1 Determinar la diversidad a partir de caracteres morfológicos de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en plantaciones de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) de San Martín, Amazonas, Cuzco y Ayacucho.....	32
3.3.2 Evaluar la distribución geográfica con potencial de asociación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en plantaciones de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) de San Martín, Amazonas, Cuzco y Ayacucho.....	36
3.3.3 Determinar el porcentaje de colonización micorrícica en plantaciones de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) de San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho. .	37
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41

4.1	Identificación y descripción taxonómica de HMA .....	41
4.2	Descripción de Diversidad de HMA .....	47
4.3	Distribución geográfica de HMA.....	58
4.4	Porcentaje de colonización .....	66
CONCLUSIONES .....		71
RECOMENDACIONES .....		72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		73
ANEXOS.....		83

## Índice de tablas

<i>Tabla 1.</i> Clasificación de los tipos de micorrizas. ....	24
<i>Tabla 2.</i> Clasificación taxonómica de los HMA. ....	25
<i>Tabla 3.</i> Ubicación geográfica y características de las parcelas colectadas en diferentes ecosistemas de cacao en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	29
<i>Tabla 4.</i> Descripción de HMA, Familia, género y especie asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	41
<i>Tabla 5.</i> Parámetros de riqueza de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	47
<i>Tabla 6.</i> ANOVA de Riqueza de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	48
<i>Tabla 7.</i> Índice de Simpson para HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	50
<i>Tabla 8.</i> ANOVA del índice de Simpson para HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	51
<i>Tabla 9.</i> Índice de Shannon Winner para HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	52
<i>Tabla 10.</i> ANOVA del Índice de Shannon Winner asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	54
<i>Tabla 11.</i> Densidad de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	55
<i>Tabla 12.</i> ANOVA de la densidad de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	57
<i>Tabla 13.</i> Análisis de suelo de parámetros físico - químicos de 27 localidades en tres regiones del Perú. ....	60
<i>Tabla 14.</i> Correlación de variable de suelo con riqueza, índice de Simpson, índice de Shannon y densidad. ....	64

<i>Tabla 15.</i> Porcentaje de colonización de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	66
<i>Tabla 16.</i> ANOVA del porcentaje de colonización de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.....	68
<i>Tabla 17.</i> Descripción morfológica de HMA identificados taxonómicamente en 17 localidades en las tres regiones del Perú.....	83

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Mapa georreferencial de la ubicación geográfica de los puntos de colecta en diferentes regiones productivas de cacao en el Perú. ....	28
<i>Figura 2.</i> A y B: Colecta de suelo rizosférico y biomasa radicular de plantaciones de cacao. C: Secado de muestra de suelo a temperatura ambiente. ....	32
<i>Figura 3.</i> Muestras conservadas de suelo rizosférico a 4°C en refrigeración. ....	33
<i>Figura 4.</i> Extracción y aislamiento de esporas de HMA de suelo rizosférico de cacao. A: Dilución de muestras de suelo en agua, B: Tamizado de la dilución de suelo en agua utilizando tamices de (38, 250 µm), C: Degradado de sacarosa al 20 y 60%, D: Vaciado del suspendido final en tubo falcón de 45ml con la gradiente de sacarosa, E: Centrifugado a 3500 rpm por 5 minutos, F: Vertido de la solución superior del tubo falcón en una tamiz de 38 µm, G: Colecta del suspendido final en una Placa Petri H: Placa Petri con sobrenadante final, I: Aislamiento y separación de esporas, J: Vista de esporas en estereoscopio. ....	34
<i>Figura 5.</i> A: Morfotipos de esporas. B: Extracción de esporas. C: Láminas montadas de esporas con PVLG y PVLG + Melzer D: Láminas montadas almacenadas en cajas, E: Características medibles de las esporas. ....	35
<i>Figura 6.</i> A y B: Extracción y acondicionamiento de raíces de plantas de cacao. ....	37
<i>Figura 7.</i> Tubos falcón conteniendo de raíces de cacao con solución de alcohol al 70%. ....	38
<i>Figura 8.</i> Tinción de raíces de cacao, A y B: Raíces de cacao con KOH (10%) en tubos de ensayo, C: Colocado de muestras en baño maría a 90 °C, D: Adición de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> de 20 volúmenes, E: Raíces lavadas y enjuagadas en agua de grifo, F: Adición de tinta Parker Quink 5,7% a las raíces. G: Gradadas con tubos de ensayo en baño maría con tinta Parker, H: Adición de lacto glicerol para conservar las raíces. ....	39
<i>Figura 9.</i> Estimación del porcentaje (%) de colonización en Cacao A: Montaje paralelo de 20 fragmentos de raíces teñidas en láminas porta objetos, B:	

Laminas montadas con 20 fragmentos de raicillas, C: Evaluación en el microscopio a aumento 40 X, D: Vista de una raíz teñida en un microscopio ocular.....	40
<i>Figura 10.</i> Diversidad de HMA por género asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas de cacao en Amazonas – Perú. ....	44
<i>Figura 11.</i> Diversidad de HMA por género asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas de cacao en Cusco y Ayacucho – Perú. ....	45
<i>Figura 12.</i> Diversidad de HMA por género asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas de cacao en San Martín – Perú.....	46
<i>Figura 13.</i> Riqueza específica de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	49
<i>Figura 14.</i> Índice de Simpson de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	52
<i>Figura 15.</i> Índice de Shannon Winer de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	55
<i>Figura 16.</i> Densidad de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.....	58
<i>Figura 17.</i> Distribución de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	58
<i>Figura 18.</i> Porcentaje de colonización de HMA asociados al cultivo de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú. ....	69

## RESUMEN

El cacao es una especie nativa de los bosques tropicales, que se asocia con los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) que ayudan en la tolerancia al estrés tanto a factores bióticos como abióticos. Sin embargo, el vínculo simbiótico entre los HMA y las plantas de cacao no está bien establecido en Perú. El objetivo de este estudio es evaluar la diversidad de HMA relacionados con las plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las regiones de San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho. En este sentido, después de coleccionar, aislar e identificar morfológicamente los hongos micorrícicos arbusculares de las zonas mencionadas, se observó la presencia de 8 familias, 17 géneros y 67 especies de HMA en las tres regiones del Perú en las localidades de Shunté, Uchiza, Pólvora, Pongo de Caynarachi, San Roque, Pinto Recodo, San Reyes, Saposoa, Piscuyacu, Chungui, Anco, Santa Rosa, Sivia, Canayre, Pichari, Kimbiri, Lobo, Villa Virgen, Imaza, Shugki, Putuyakat, Nueva Unida, Milagro, Cajaruro, Mandingas, Copallin y La Peca. Obteniendo mayor presencia del género *Acaulospora*, con 24 especies, seguidas del género *Glomus* con 10 especies y los demás géneros en rangos menos de 1 a 5. La distribución geográfica se evidenció que 22 localidades son semejantes entre sí y 5 localidades difieren o son diferentes que pueden estar influenciadas por los factores físico-químicos del suelo. Se registraron valores entre el 54% y 88% de colonización de HMA en raíces de cacao, siendo Uchiza la localidad que alcanzó porcentaje más elevado. En el estudio de diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en diferentes ecosistemas de cacao (*Theobroma cacao* L.) se concluyó que las regiones de Amazonas, San Martín, Cusco y Ayacucho no presentaron diferencias significativas en la diversidad de HMA, sin embargo, al evaluar los diferentes ecosistemas productivos de cacao, la localidad de Mandingas en Amazonas presentó la mayor riqueza de especies. La distribución geográfica de especies de HMA en las tres regiones no fue afectada por la distancia geográfica, pero se evidenció que las características físico – químicas, influyeron significativamente en la distribución de especies de HMA. Las regiones de Amazonas, San Martín, Cusco y Ayacucho no presentaron diferencia significativa en los análisis de colonización de HMA, Sin embargo, al evaluar los diferentes ecosistemas de cacao se encontraron porcentajes superiores al 50% evidenciando una gran capacidad de asociación con las raíces de cacao, así mismo, la localidad de Uchiza en San Martín registró el mayor porcentaje de colonización.

**Palabras claves:** Especies, Simbiosis, Diversidad, Riqueza, Morfología, Ecosistemas, Geografía, Colonización.

## ABSTRACT

Cacao is a species native to tropical forests, which is associated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) that help in stress tolerance to both biotic and abiotic factors. Nevertheless, the symbiotic link between AMF and cacao plants is not well established in Peru. The objective of this study is to evaluate the diversity of AMF related to cacao (*Theobroma cacao* L.) plantations in the regions of San Martin, Amazonas, Cusco and Ayacucho. After collecting, isolating and morphologically identifying the arbuscular mycorrhizal fungi from the mentioned areas, the presence of 8 families, 17 genera and 67 species of AMF was observed in the three regions of Peru in the localities of: Shunte, Uchiza, Pólvara, Pongo de Caynarachi, San Roque, Pinto Recodo, San Rejes, Saposoa, Piscuyacu, Chungui, Anco, Santa Rosa, Sivia, Canayre, Pichari, Kimbiri, Lobo, Villa Virgen, Imaza, Shugki, Putuyakat, Nueva Unida, Milagro, Cajaruro, Mandingas, Copallin and La Peca. The genus *Acaulospora* was the most present, with 24 species, followed by the genus *Glomus* with 10 species and the other genera in ranges of less than 1 to 5. The geographical distribution showed that 22 localities are similar to each other and 5 localities differ or are different, which may be influenced by the physical-chemical factors of the soil. Values between 54% and 88% of AMF colonization on cacao roots were recorded, with Uchiza being the locality that reached the highest percentage. In the study of diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in different ecosystems of cocoa (*Theobroma cacao* L.) it was concluded that the regions of Amazonas, San Martin, Cusco and Ayacucho did not show significant differences in AMF diversity, however, when evaluating the different productive ecosystems of cocoa, the locality of Mandingas in Amazonas presented the highest species richness. The geographic distribution of AMF species in the three regions was not affected by geographic distance, but it was evident that the physical-chemical characteristics significantly influenced the distribution of AMF species. However, when evaluating the different cocoa ecosystems, percentages higher than 50% were found, showing a great capacity for association with cocoa roots, likewise, the town of Uchiza in San Martin registered the highest percentage of colonization

**Keywords:** Species, Symbiosis, Diversity, Richness, Morphology, Ecosystems, Geography, Colonization.





## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) se considera un cultivo de gran importancia a nivel nacional, debido a que en los últimos años ha presentado un incremento significativo en las exportaciones. “Perú se encuentra en el noveno lugar entre los países productores de cacao en grano y el segundo lugar entre los países productores y exportadores de cacao fino” en el mundo, Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri, 2019).

En el 2019, Minagri reportó que existen 90 000 productores distribuidos en 16 regiones del Perú que actualmente se dedican al cultivo de cacao en un área comprendida de 204 000 hectáreas. Gestión (2019), menciona que la mayor producción de cacao se sitúa en las regiones de San Martín, Amazonas, Ayacucho, Huánuco, Cusco, Junín y Ucayali, representando el 93% de la producción nacional.

Según Minagri (2019), el rendimiento promedio a nivel nacional del cultivo es cercano a los 850 kg/ha, aunque el potencial biológico del cacao alcanza los 4 000 kg/ha (Agraria, 2017). La baja productividad del cacao en Perú se relaciona con mal manejo nutricional y la baja eficiencia tecnológica, ya que en su mayoría los agricultores no cuentan con tecnologías apropiadas para el desarrollo de este cultivo.

Varios estudios del microbiota presente en el suelo resaltaron su importancia debido a que existe una diversidad de microorganismos benéficos como son los Hongos Micorrízicos Arbusculares que se asocian naturalmente al cacao (Pacheco et al., 2022). Estos organismos benefician a las plantas facilitando la adquisición de nutrientes que no están disponibles o de poca movilidad, evadiendo la acción de patógenos, aumentando la tolerancia a condiciones de estrés abiótico o metales voluminoso, entre otras ganancias (Barrer, 2009). Sin embargo, existen limitados estudios referentes a la diversidad de HMA presente en diferentes ecosistemas productivos de cacao en las regiones de Ayacucho, San Martín y Cusco. En este contexto, es de suma importancia crear una base de datos acerca de la diversidad de estos microorganismos, presente en distintos ecosistemas de cacao del Perú.

En este sentido, el objetivo principal de la presente investigación fue evaluar la diversidad de HMA asociados con plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las regiones de San Martín, Cusco y Ayacucho.

Adicionalmente, los objetivos específicos fueron:

- a) Determinar la diversidad morfológica de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) aislados de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en las regiones de San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho.
- b) Evaluar la distribución geográfica con potencial de asociación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho.
- c) Determinar el porcentaje de colonización micorrícica en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de San Martín, Cusco y Ayacucho.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### Antecedentes de la investigación

Luis-Alaya et al. (2023), realizaron un estudio en plantaciones de cacao en San Martín Perú, concluyeron que las familias Archaeosporaceae, Acaulosporaceae, Glomeraceae y Paraglomeraceae son las más que más se asocian a las plantaciones de cacao logrando identificar una densidad de 13,4 y 131,8 esporas en 100 g de suelo seco.

Pacheco et al. (2022), al finalizar las evaluaciones en plantaciones de cacao con dos prácticas de cultivo (Conservadoras y semiconservadoras) en Ecuador, lograron encontrar un total de 19 402 esporas por 100 g de suelo, identificando los 12 géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Ambispora*, *Pacispora* y *Diversispora* que representaron el 88% del total, seguidos de *Scutellospora*, *Racocetra*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Intraspora*, *Paraglomus* y *Archaeospora* con el 12% restante para cultivos Conservadores y 14 453 esporas de por 100 g de suelo, identificando el género *Glomus* representando el 50% del total, seguidos por *Acaulospora*, *Ambispora*, *Pacispora*, *Intraspora*, *Archaeospora*, *Gigaspora*, *Paraglomus*, *Entrophospora*, *Diversispora*, *Scutellospora* conformando el 50% restante en cultivos semiconservadores.

Vallejos-Torres et al. (2022), en un estudio en rizosfera de cacao realizado en la región de San Martín, lograron identificar ocho especies de HMA *Claroideoglomus* sp., *Acaulospora scrobiculata*, *Diversispora aurantia*, *Microkamienskia* sp., *Microkamienskia peruviana*, *Diversispora* sp., *Claroideoglomus etunicatum*, siendo *Claroideoglomus* sp. Sin embargo, también identificaron un nuevo grupo denominado *Unidentified taxa* que podría representar un nuevo género.

Corazón-Guivin et al. (2022), en el Perú exclusivamente en la región de San Martín se han reportado 10 especies de HMA en cultivos de café y sacha Inchi, sin embargo, recientemente se reportó una nueva especie *Rhizoglomus cacao*, generando una actualización en una clave de identificación para las especies del género *Rhizoglomus*.

Llanos (2020), concluye que en Bagua y Utcubamba (Amazonas), se identificó 57 morfotipos de HMA, clasificado en 5 familias: Gigasporaceae, Glomeraceae, Scutellosporaceae, Acaulosporaceae, y Diversisporaceae; de los cuales Acaulosporaceae, Glomeraceae, Gigasporaceae y Scutellosporaceae se descubrieron en ambas provincias, mientras que las Diversisporaceae sólo se encontraron en la provincia de Utcubamba. Las Glomeraceae representaron el 60% del total de familias y

fueron las más prevalentes y representativas, seguidas de las Acaulosporaceae con un 28%. Ambas familias son predominantes, lo que indica que están ampliamente distribuidas en los agroecosistemas relacionados con el cacao nativo.

Villasagua (2017), en la Ciudad de Vinces - Ecuador se identificaron las siguientes especies de HMA: *Acaulospora bireticulata*, *Acaulospora excavata*, *Claroideoglomus lamellosum*, *Funneliformis coronatum*, *Funneliformis geosporum* y *Pacispora boliviana*. Concluyendo que la mayor densidad de esporas se registró en fincas orgánicas a diferencia de fincas con aplicación de productos químicos en el manejo agronómico.

Arévalo (2016), al evaluar la diversidad de HMA en cacao silvestre de las regiones de Ucayali y Madre de Dios logró identificar que el género *Glomus* estaba en pocas cantidades asociado a las raíces de cacao, concluyendo que existe dependencia geográfica en la densidad y colonización de HMA en raíces de cacao silvestre.

Rojas et al. (2014), en un estudio realizado en la región San Martín en diferentes fincas de cacao bajo un sistema de cobertura, logró reportar un total de 46 especies de HMA con densidades de 780 a 1 100 esporas/g de suelo. De las cuales las especies más comunes fueron la *Diversispora spurca* y sp.

## **2.1. Fundamentos teóricos**

### **Origen y distribución del cacao**

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta forestal tropical sudamericana cuyos orígenes se remontan a las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo, todos ellos afluentes del río Amazonas (Romero et al., 2016).

### **Descripción morfológica**

Según Batista (2009), el árbol del cacao suele alcanzar una elevación entre 6 a 8 metros, con distinción del cacao Nacional del Ecuador y del amelonado africano occidental, que puede llegar a los 12 metros. La elevación del árbol es dependiente de componentes del medio ambiente que influyen en el incremento y presenta raíz pivotante, la cual crece hacia abajo de manera recta.

Su inflorescencia es desiforme, la flor del cacao es hermafrodita, pentámera, de ovario súpero, cuya fórmula floral es: S5, P5, E5+5, + G (5). El fruto del cacao es el producto de la maduración del ovario de la flor fecundada, es una drupa popular como mazorca los colores varían con muchas tonalidades, empero solo hay 2 colores básicos el verde y rojo, por lo cual dentro puede contener entre 20 a 60 semillas o almendras, cuyo tamaño y forma varían conforme el tipo genético (Batista, 2009).

## **Variedades del cacao**

### **Criollo**

Se origina en América Central precolombina, cultivada actualmente en Guatemala, México y Nicaragua en pequeñas áreas; de igual manera en Perú, Trinidad, Venezuela, Jamaica, Colombia, Islas del Caribe e Isla Camores. Son árboles frágiles, de tardío incremento, bajo rendimiento, muy susceptibles a patologías y plagas. El fruto se identifica por ser apacible y generar un chocolate de mínimo amargor y excelente calidad. Su sabor es suave, y complejo, y su esencia es muy intensa, es muy pedido en los mercados exigentes de todo el mundo y representa tan solo el 5% al 8% de la producción mundial (Romero et al., 2016).

### **Forastero**

Oriundo de la Alta Amazonía, se considera de alta producción en los países africanos y Asia, usado para combinar y proporcionar forma al chocolate. Se considera como un cacao común nativo de Bolivia, Colombia, Brasil y Perú. En la actualidad se cultiva principalmente en Perú, Ecuador, Colombia, Brasil Guayanas y Venezuela. Referente en la catación, esta clase de cacao es profundo y amargo, sutilmente ácido; con mucho tanino y astringencia. Posee un gigantesco potencial aromático, pero sin delicadeza ni variedad de sabores. Presenta un excelente rendimiento, cosecha prematura, árbol resistente a patologías (Romero et al., 2016).

### **Trinitario**

Combinado entre el Criollo y el Forastero, oriundo de la Isla Trinidad. Se difundió en Latinoamérica y El Caribe y ha sido incrustado en África en torno al 1850. Presenta aumento de aroma a comparación del Forastero y más resistencia que el Criollo. Lo que simboliza el 10% al 15% de la producción de cacao en el mundo (Romero et al., 2016).

## **Taxonomía del cacao**

León (1987), clasifica taxonómicamente a esta especie de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Fanerógamas

Clase: Angiosperma

Sub clase: Dicotiledónea

Orden: Malvales

Familia: Sterculiaceae

Género: Theobroma

Sección: Eutheobroma

Especie: *Theobroma cacao*, L.

## **Requerimientos climáticos y edáficos para el cultivo de cacao**

### **Fotoperiodo**

La luz varía dependiendo del periodo benéfico en el cual se halle, estando de 40 % al 50 % para cultivo en desarrollo (menor de 4 años) y 60 % al 75 % en plantaciones de producción (Romero et al., 2016).

### **Altitud**

Se cultiva a partir del grado del océano hasta los 1200 msnm, siendo el óptimo de 500 a 800 m s.n.m. (Romero et al., 2016).

### **Agua**

Las precipitaciones mínimas y máximas moldeables son de 1 400mm y 3 000mm, respectivamente, con óptima de 1 500mm a 2 500mm, con elevado nivel de repartición en todo el periodo (Romero et al., 2016).

### **Temperatura**

La temperatura media anual oscila entre 23° y 30° C, existiendo el óptimo 25° C (Romero et al., 2016).

### **Humedad**

Humedad relativa anual oscila entre el 70% y 80% (Romero et al., 2016)

### **Textura del suelo**

Según sus características físicas, establecidas la profundidad es de 0,60 – 1,50 metros. Con una textura del suelo franco, franco-arcilloso, franco arenoso. Asimismo, no es aconsejable sembrar en suelo fino o bastante grueso (Romero et al., 2016).

### **Definición de micorriza**

Fernández (2008), menciona que es el nombre que recibe la simbiótica que existe entre ciertas especies de hongos y las raíces de las plantas. Etimológicamente, derivan de las palabras griegas mico = hongo y riza = raíz. Tampoco son visibles para el ojo humano,

aunque poseen estructuras comparables a las de la mayoría de la mayoría de los miembros de su reino, como son: hifas o micelios endófitos y ectófitos (redes de hifas), vesículas, esporas y cuerpos fructíferos agregados o libres.

### **Tipos de micorrizas**

Existen siete tipos de asociaciones en función de su forma y de los taxones de vegetales relacionados con los hongos:

**Ectendo-micorrizas.** Son asociaciones establecidas por un pequeño número ascomicetos y los géneros de coníferas *Pinus* y *Larix*; tienen un manto y una estructura complicada en forma de red de Hartig muy ramificada (Yu et al., 2001).

**Ericoide.** Es una forma distinta de micorriza que solo se encuentra en algunas familias del orden Ericales. Las plantas con este tipo de micorrizas tienen raíces laterales estrechas sin desarrollo secundario. Cada raíz está formada por un cilindro vascular delgado, una o dos capas de células corticales y una capa epidérmica. Las hifas colonizan las células epidérmicas, lo que va seguido de la creación de un complejo hifal ramificado (Cairney et al., 2002).

**Arbutoide.** Las micorrizas arbutoides típicas están compuestas por especies de Ericaceae (*Arbutus* y *Arctostaphylos*) y varios géneros de Pyrolaceae. Estas micorrizas tienen un manto, una red de Hartig y forman complejos hifales intracelulares epidérmicos (Molina et al., 1982).

**Orquideoide.** Crecen en la familia Orchidaceae. El desarrollo de racimos en las células vegetales es la principal característica de esta micorriza (Smith et al., 1988 citado en Camareana 2012).

**Ectomicorriza:** A pesar de la considerable variación estructural y morfológica, se puede identificar tres características exitosas para caracterizar esta agrupación: la formación de un manto o vaina de hifas que cubre porciones significativas de las raíces laterales, el desarrollo de hifas entre las células de la raíz para formar la red de Hartig, y las hifas que emanan del manto y crecen en el suelo (Peterson et al., 2004 citado en Camareana 2012).

**Arbuscular.** La micorriza vesícula – arbuscular es otro de sus nombres. En pequeños grupos de hongos del nuevo phylum Glomeromycota, las raíces y la mayoría de las plantas vasculares forman una asociación (Schübler et al., 2001, citado en Camareana 2012).

**Monotropoide.** Camareana (2012), sugiere que los hongos que componen esta micorrizica también están árboles cercanos fotosintéticamente activos, y han desarrollado un mecanismo para obtener fotosintatos. Björkman (1960), demostró que fueron entrenadas para que pudieran transferir fotosintatos desde árboles circundantes a *Monotropa hypopithys*.

### Clasificación de las micorrizas

Nazareno et al. (2019), menciona, las micorrizas tienen la posibilidad de clasificarse primordialmente por medio de ciertas propiedades morfológicas del hongo, la estructura, tipo de hifa y grado de penetración en la raíz o el tejido (Tabla 1)

**Tabla 1.**

*Clasificación de los tipos de micorrizas.*

Tipos de micorrizas	Ecto - micorrizas	Ectendomicorrizas			Endomicorrizas		
		Otras	Arbutoide	Monotropoide	Ericoide	Orquideoide	MA
<i>Hifas</i>	Septadas	Septadas Septos	Septadas	Septadas	Septadas	Septadas	Sin
<i>Penetración</i>	Inter-celular	Intra-celular	Intra-celular	Intra-celular	Intra-celular	Intra-celular	Intra-celular
<i>Manto hifal</i>	Presente	Presente/ Ausente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente
<i>Simbionte Fúngico</i>	Basido/ Asco	Basido/ Asco	Basidio	Basidio	Asco	Basidio	Glomero
<i>Simbionte Vegetal</i>	Gymno Angio	Gymno Angio Gymno Angio	Ericales	Monotropoideae	Ericales	Orchidales	Bryo Pterido

MA: Micorrizas Arbusculares; Basidio: Basidiomycota; Asco: Ascomycota; Glomero: Glomeromycota; Gymno: Gymnosperma; Angio: Angiosperma; Bryo: Bryophyta; Pterido: Pteridophyta. (Smith y Read, 2015).

### Hongos micorrícicos arbusculares

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA), se clasifican en un sistema único llamado clado Glomeromycota. El HMA muestra correlación simbiótica con más del 80% de las plantas terrestres, y recibe carbono de las plantas hospedantes, mientras que aumenta la absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) por la planta hospedante (nitrógeno y fósforo), por lo tanto, afecta el metabolismo secundario de las plantas hospedadoras y mejora la tolerancia de la planta hospedante a los patógenos, lo cual está directa o indirectamente relacionado con el método de protección de la planta. La simbiosis afecta



las interacciones de planta a planta y la organización de colectividades de plantas a mayor escala. Por tanto, afecta la producción agrícola, así como la protección y restauración de los ecosistemas agrícolas (Dang et al., 2021).

La simbiosis micorrícica arbuscular es el resultado evidente del contacto del hongo con la raíz de la planta, así como un gran ejemplo de los sustanciales cambios morfológicos que experimenta la raíz para aceptar la presencia de un simbiote. Los HMA absorben fotosintatos de la planta, mientras que ésta mejora su capacidad de absorción de nutrientes y agua, así como su tolerancia a los desafíos abióticos y bióticos (Medina et al., 2016).

### Clasificación de los HMA

Los estudios taxonómicos de HMA se realizan a partir de una observación microscópica, clasificando de acuerdo a su morfología de las esporas mediante la evaluación de aspectos como: forma de la hifa de soporte, el tamaño y la forma de las esporas (Morton et al., 2001).

En la actualidad las investigaciones de HMA utilizan métodos moleculares fundadas en ADN a partir de cadena de polimerasa (PCR), después identifica y clasifica ya que estudios que utilizaron ADN ribosomal confirman nuevos ordenes (Rodríguez et al., 2009).

Los HMA son miembros del Phylum Glomeromycota (Tabla 2), y se distinguen por la formación de uniones dependientes, internas y simbióticas con las plantas (Redecker et al., 2013).

**Tabla 2.**

*Clasificación taxonómica de los HMA.*

Clase	Orden	Familia	Género
			<i>Glomus</i>
			<i>Dominikia</i>
			<i>Funneliformis</i>
			<i>Funneliglomus</i>
			<i>Kamienskia</i>
			<i>Microdominikia</i>
			<i>Microkamienskia</i>
		Glomeraceae	<i>Nanoglomus</i>
			<i>Oehlia</i>
			<i>Orientoglomus</i>
	Glomerales		<i>Rhizoglomus</i>

			<i>Septoglomus</i>
			<i>Sclerocarpum</i>
			<i>Sclerocystis</i>
			<i>Simiglomus</i>
			<i>Entrophospora</i>
			<i>Albahypha</i>
		Entrophosporaceae	<i>Claroideoglomus</i>
			<i>Viscospora</i>
<b>Glomeromycetes</b>	Diversisporales		<i>Diversispora</i>
			<i>Desertispora</i>
			<i>Otopora</i>
		Diversisporaceae	<i>Tricispora</i>
			<i>Redeckera</i>
			<i>Corymbiglomus</i>
		Sacculosporaceae	<i>Sacculospora</i>
		Pacisporaceae	<i>Pacispora</i>
		Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>
			<i>Kuklospora</i>
		Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>
			<i>Scutellospora</i>
		Scutellosporaceae	<i>Bulbospora</i>
			<i>Orbispora</i>
		Racocetraceae	<i>Racocetra</i>
	<i>Cetraspora</i>		
Gigasporales		<i>Dentiscutata</i>	
	Dentiscutataceae	<i>Fuscutata</i>	
		<i>Quatunica</i>	
	Intraornatosporaceae	<i>Intraornatospora</i>	
		<i>Paradentiscutata</i>	
		<i>Archaeospora</i>	
<b>Archaeosporomycetes</b>	Archaeosporales	Archaeosporaceae	<i>Intraspora</i>
			<i>Palaeospora</i>
		Ambisporaceae (= Appendicisporaceae)	(= <i>Ambispora</i> (= <i>Appendicispora</i> ))
		Geosiphonaceae	<i>Geosiphon</i>
<b>Paraglomeromycetes</b>	Paraglomerales	Paraglomeraceae	<i>Paraglomus</i>
			<i>Innospora</i>
		Pervetustaceae	<i>Pervetustus</i>

### **Importancia de los HMA**

Como componentes de la rizosfera, los microorganismos influyen en la morfología y la fisiología de las plantas, así como en el entorno del suelo (Pelczar et al., 1984).

Como tales, desempeñan una función crítica en la biosfera, ayudando en la descomposición de la materia orgánica y contribuyendo en la nutrición del suelo mediante el ciclo del carbono (Smith et al., 2015).

Varias especies de hongos están en las raíces de las plantas, en particular la micorriza arbuscular, porque este hongo aumenta la absorción de fósforo y otros microelementos que no son fácilmente accesibles para las plantas, como el calcio, el zinc, el cobre y el azufre, a cambio de ciertos compuestos orgánicos que contribuyen a su desarrollo (Bago et al., 1998). El diseño tridimensional del micelio exterior de los hongos micorrícicos ayuda a estabilizar los agregados manteniendo unido cada partícula de suelo (Tisdall, 1994).

### **Simbiosis HMA – CACAO**

Esta interacción simbiótica, comenzó hace alrededor de 500 millones de años (Villarreal et al., 2009). Los HMA reciben material hidrocarbonado de las plantas para nutrirse en forma de exudados radiculares, y las hifas de los hongos funcionan como pelos radiculares para las plantas, ayudando a la absorción de nutrientes (Trappe et al., 2009).

*Theobroma cacao* (Sterculiaceae), es una especie neotropical con una gran diversidad genética y una gama de relaciones biológicas debido a su capacidad de formar una simbiosis impuesta (facultativa) o de dependencia con HFMA (Cuadros et al., 2011).

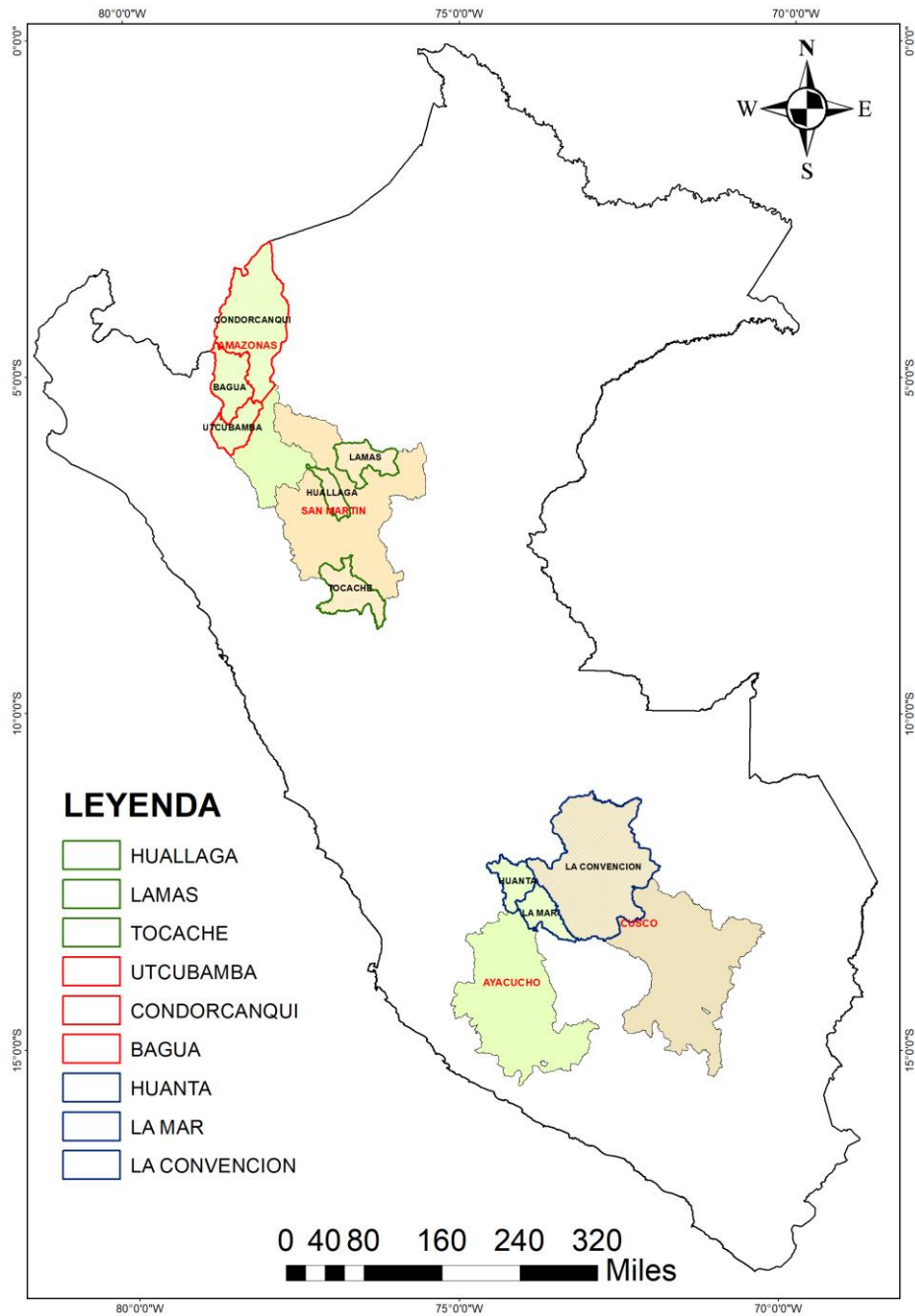
Varios estudios se han centrado en estos hongos como bio-estabilizadores de cadmio con la finalidad de evitar la traslocación de metales pesados presentes en el suelo, las estructuras involucradas son arbusculos, las vesículas y las hifas, estos hongos han demostrado que producen glomalina que tiene una capacidad de establecer enlaces con metales pesados, pero la cantidad producida no es suficiente ya que solo puede inmovilizar <1% de cadmio (Perez et al., 2019).

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

#### Contexto de la investigación

En la figura 2 y la tabla 3 muestra el mapa de las zonas colectadas en diferentes ecosistemas de cacao en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.



**Figura 1.** Mapa georreferencial de la ubicación geográfica de los puntos de colecta en diferentes regiones productivas de cacao en el Perú.

**Tabla 3.**

*Ubicación geográfica y características de las parcelas colectadas en diferentes ecosistemas de cacao en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

Región	Provincia	Distrito	Área (HA)	Edad (años)	Asociaciones de cultivos	Varietades	Altitud (msnm)	Precipitación (mm)	Temperatura °C	Densidad / ha	Coordenadas UTM
AMAZONAS	BAGUA	IMAZA	2	15	Monocultivo	Criollo	294	674	27	1 111	800926; 9427294
		LA PECA	6	20	Café y plátano	CCN51	1225			1 111	787458; 9377877
		COPALLIN	15	30	Monocultivo	Criollo	1171			1 111	790152; 9373473
	UTCUBAMBA	CAJARURO	3	8	Monocultivo	Criollo	766	700	27	1 111	793415; 9366206
		MANDINGAS	2	7	Monocultivo	Criollo	627			1 111	810692; 9345070
		MILAGRO	3	7	Monocultivo	Criollo	371			1 111	763679; 9375170
	CONDORCANQUI	NUEVA UNIDA	4	7	Monocultivo	Criollo	202	800	25	1 111	170362; 9463297
		SHUGKI	3	5	Monocultivo	Criollo	219			1 111	167524; 9461638
		PUTUYAKAT	1.5	5	Monocultivo	Criollo	222			1 111	826256; 9456454
		VILLA VIRGEN	1	8	Monocultivo	CCN51	792			1 111	660725; 8563519
VRAEM	LA CONVENCION	LOBO	3	7	Monocultivo	CCN51	694	960	20.4	1 111	650913; 8584656
		KIMBIRI	4	20	Monocultivo	VRAEM 15 VRAEM 99	646			1 111	630411; 8606105
		PICHARI	6	21	Monocultivo	VRAEM 99 CCN51	710			1 111	624751; 8624668
		CAYRE	4,5	10	Forestal	CCN51 VRAEM99	469			1 111	607564; 8641671
	HUANTA	SIVIA	4	8	Naranja	CCN51 CMP99	682	500	19.2	1 291	622906; 8616400
		SANTA ROSA	2	20	Forestal	CCN 51 ICS 95	722			1 666	637948; 8597316
	LA MAR	ANCO	0,25	4	Monocultivo	Criollo Chuncho	855	575.5	17.5	322	658515; 8563286
		CHUNGUI	0,75	20	Café, Plátano, Piña	Crillo Chuncho	1200			800	664834; 8549742

<b>SAN MARTÍN</b>	HUALLAGA	SAPOSOA	1	10	Monocultivo	CCN51 Y ICS95	386	1051	27.5	1 111	307205; 9237760
		SAN REJES	1,5	10	Monocultivo	CCN51	325			1 291	301078; 9240247
		PISCUYACU	2,5	5	Monocultivo	CCN51 ICS95	600			1 111	300120; 9225836
	LAMAS	PINTO RECODO	1	17	Monocultivo	CCN51 ICS95	693	977	23.4	1 291	322025; 9297985
		SAN ROQUE	5	14	Monocultivo	CCN51 ICS95 ICS1	886			1291	331728; 9277458
		CAYNARACHI	2,5	14	Monocultivo	CCN51	240			1291	354141; 9301120
		PÓLVORA	6	10	Monocultivo	CCN51	482			1 111	323139; 9102543
	TOCACHE	UCHIZA	1,4	7	Monocultivo	CCN51	529	1 340	27	1 291	340575; 9067531
		SHUNTÉ	1	10	Monocultivo	CCN 51	800			1 111	315515; 9082036

## **Periodo de ejecución**

El presente estudio se llevó a cabo de abril a diciembre de 2021.

### **3.1.1 Autorizaciones y permisos**

#### **3.1.3.1 Colecta de muestras**

La colecta de muestras no precisó autorización ni permiso porque se realizó en las parcelas de los agricultores sin deteriorar el medio ambiente ni alguna zona protegida.

#### **3.1.3.2 Hidróxido de potasio (KOH)**

Como reactivo de uso peligroso, el laboratorio tiene un contrato con la empresa Ecoterra para la recogida y el tratamiento de materiales peligrosos, así como para evitar la contaminación del medio ambiente.

### **3.1.2 Control ambiental y protocolos de bioseguridad**

El presente proyecto de estudio se rigió por los protocolos de bioseguridad creados para los laboratorios de la Universidad Nacional de San Martín - Sede Tarapoto y filiales, aprobado mediante resolución N° 298-2018-UNSM/CU-R/NLU. Simultáneamente, los responsables y colaboradores de este proyecto se rigieron por los lineamientos de bioseguridad creados con el código SL02LA28 en el Laboratorio de Biología y Genética Molecular para afrontar el COVID-19.

### **3.1.3 Aplicación de principios éticos internacionales**

La presente investigación se ciñó a las normas éticas generales de la investigación, incluidas la exhaustividad/integridad, el respeto por las personas y el cuidado del medio ambiente.

## **3.2. Sistema de variables**

### **3.2.1 Variables principales**

- A. Determinar la diversidad a partir de caracteres morfológicos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de San Martín, Cuzco y Ayacucho.
  - ✓ Diversidad morfológica de hongos.
  - ✓ Ubicación taxonómica

- B. Evaluar la distribución geográfica con potencial de asociación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de San Martín, Cuzco y Ayacucho.
- ✓ Distribución geográfica.
  - ✓ Propiedades edafoclimáticas de los ecosistemas cacaoteros.
- C. Determinar el porcentaje de colonización micorrícica y la longitud del micelio extra radicular en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de San Martín, Cuzco y Ayacucho.
- ✓ Colonización micorrícica.

### 3.3 Procedimientos de la investigación

#### 3.3.1 Determinar la diversidad a partir de caracteres morfológicos de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de San Martín, Amazonas, Cuzco y Ayacucho

##### Recolección y clasificación de muestras biológica

Se colectaron ejemplares biológicos (suelo rizosférico) de 135 plantas de cacao (5 plantas/ 27 parcelas/ 27 distritos/ 9 provincias/3 regiones), las plantas de cada parcela se eligieron al azar. De cada planta, se colectó aproximadamente 3–5 kg de suelo rizosférico en 4 puntos equidistantes alrededor de la planta, altura de la copa la distancia del tallo principal y 20 cm de hondura. Las 4 submuestras equidistantes se combinaron para generar una única muestra compuesta por planta. Estas muestras se codificaron según su ubicación y se secaron a temperatura ambiente para su posterior traslado al laboratorio para el análisis correspondiente.



**Figura 2.** A y B: Colecta de suelo rizosférico y biomasa radicular de plantaciones de cacao. C: Secado de muestra de suelo a temperatura ambiente.



### Selección y preservación de muestras biológicas.

Las muestras de suelo rizosférico una vez secas, se tamizaron con la finalidad de eliminar restos de piedrecillas cortezas, etc. Luego por cada planta una muestra de suelo 500 g fueron almacenados en bolsas con cerradura hermética Ziploc y conservadas a 4°C. Otra parte del suelo rizosférico (500 g) fue empaquetado, etiquetado y enviado al laboratorio de suelos de la universidad Toribio Rodríguez de Mendoza - Amazonas para su análisis físico-químico.



**Figura 3.** Muestras conservadas de suelo rizosférico a 4°C en refrigeración.

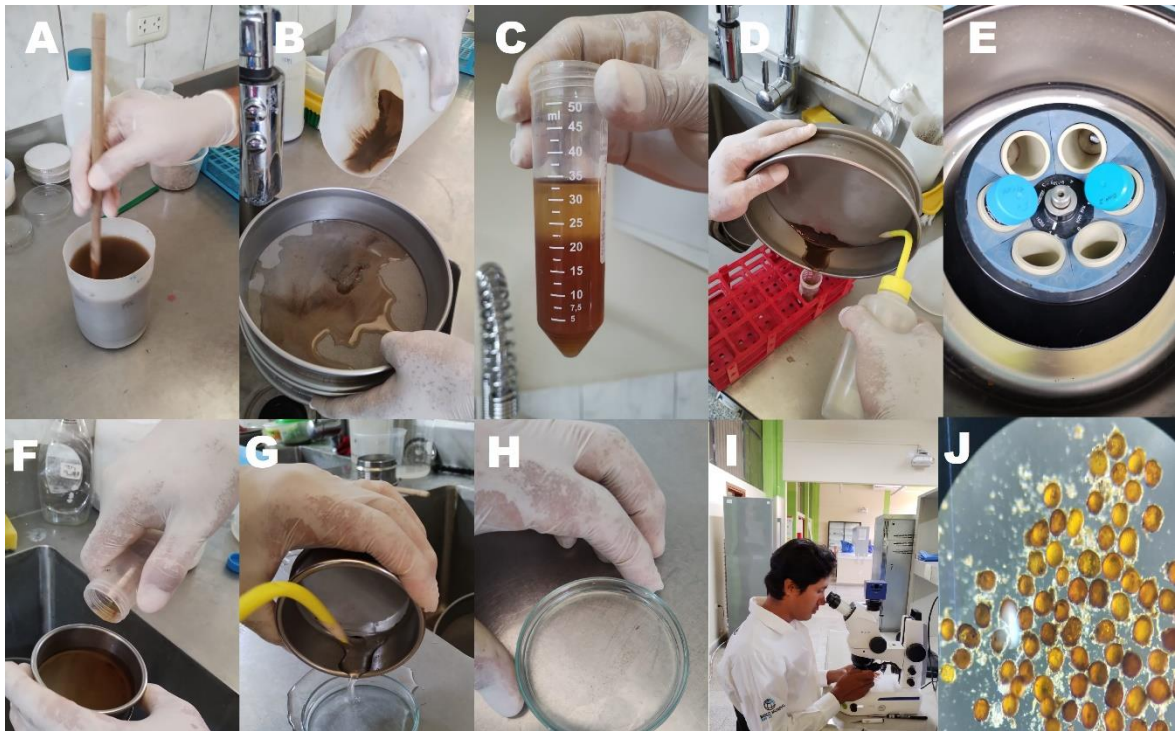
### Aislamiento de esporas

El aislamiento de las esporas se llevó a cabo utilizando una versión modificada del procedimiento de tamizado húmedo y decantación dado por Gerdeman et al. (1963), seguido de centrifugación con un gradiente de sacarosa del 20% y del 60% (Sieverding, 1983). El proceso se describe detalladamente a continuación.

- Se pesaron 50g de suelo y se suspendió la muestra de suelo en un envase con agua de 1 litro. Luego se agitó por un periodo de 5 minutos, este proceso se repitió 5 veces, hasta observar el contenido el envase con poca turbidez.
- El material recogido en el tamiz de 38um se recuperó de la fase sobrenadante final, que se filtró a través de una sucesión de tamices de

250 y 38 $\mu$ m. Se colocó en un tubo falcón de 50 ml con 20 ml de sacarosa al 60% y 10ml de sacarosa al 20%.

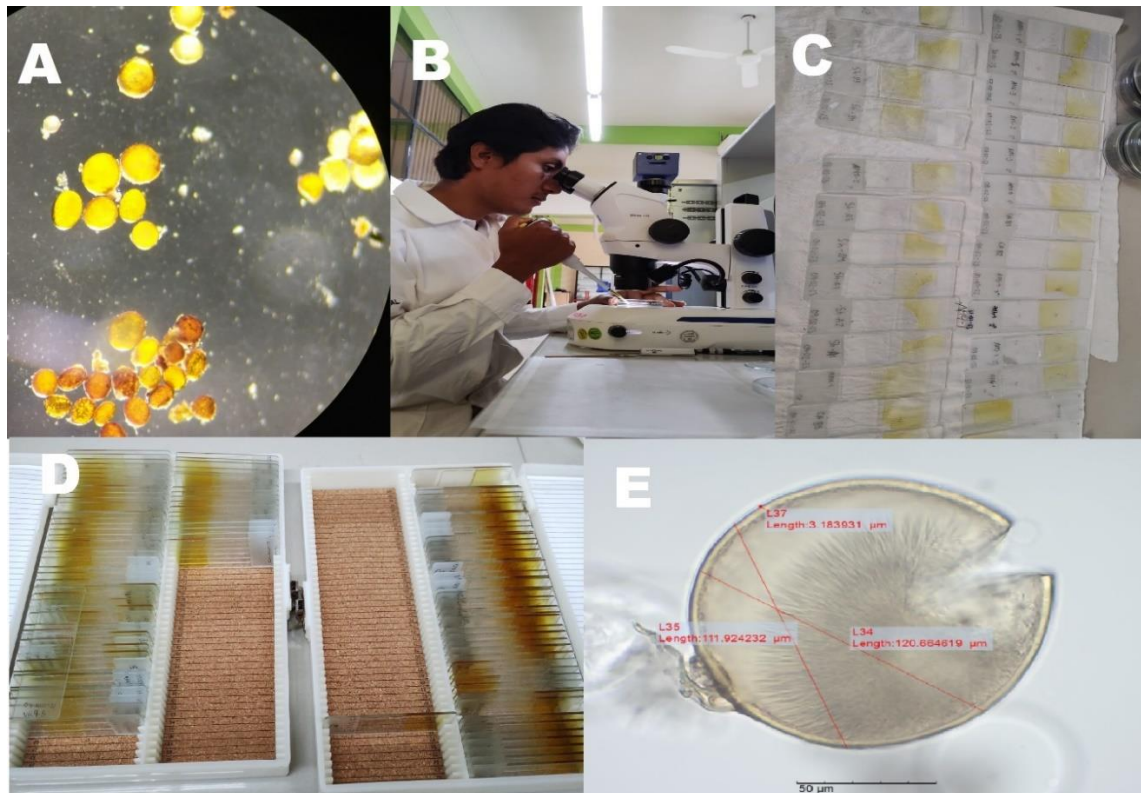
- Los tubos falcón se llenaron con agua hasta tener un volumen final de 50ml esta solución se centrifugó durante 5 minutos por 3 500.
- El sobrenadante final de los tubos falcón se filtró sobre un tamiz pequeño de 38 $\mu$ m y se lavó con abundante agua corriente.
- Finalmente, las esporas retenidas fueron suspendidas y colocadas en placas Petri para examinarlas en un estereoscopio.



**Figura 4.** Extracción y aislamiento de esporas de HMA de suelo rizosférico de cacao. A: Dilución de muestras de suelo en agua, B: Tamizado de la dilución de suelo en agua utilizando tamices de (38, 250  $\mu$ m), C: Degradado de sacarosa al 20 y 60%, D: Vaciado del suspendido final en tubo falcón de 45ml con la gradiente de sacarosa, E: Centrifugado a 3500 rpm por 5 minutos, F: Vertido de la solución superior del tubo falcón en una tamiz de 38  $\mu$ m, G: Colecta del suspendido final en una Placa Petri H: Placa Petri con sobrenadante final, I: Aislamiento y separación de esporas, J: Vista de esporas en estereoscopio.

### Cuantificación de esporas e identificación de morfo-especies

En láminas portaobjetos fueron montadas las esporas, utilizando alcohol polivinílico ácido-láctico- glicerol (PVLG) y PVLG con reactivo MELZER en una proporción de 1:5 (Omar et al., 1978) y se examinaron con un microscopio compuesto (Nikon E200). Las morfo-especies de HMA (Figura 5) se caracterizaron utilizando la clasificación actual de especies (Redecker et al., 2013) y las claves útiles en los sitios web: The International Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (<https://invam.ku.edu/species-descriptions>) Szczecin University of Technology (ZUT) Poland (<http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/Species%20descriptions%20of%20AMF.html>) and The AMF- Phylogeny (<http://www.amf-phylogeny.com/>).



**Figura 5.** A: Morfotipos de esporas. B: Extracción de esporas. C: Láminas montadas de esporas con PVLG y PVLG + Melzer D: Láminas montadas almacenadas en cajas, E: Características medibles de las esporas.

### **3.3.2 Evaluar la distribución geográfica con potencial de asociación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de San Martín, Amazonas, Cuzco y Ayacucho**

#### **Georreferenciación de las zonas colectadas.**

Se georreferenció cada punto (135 puntos) con un equipo GPS marca Garmin modelo Montana 680.

#### **Análisis físico-químico de suelo.**

Las muestras de suelo de las 27 localidades se enviaron al laboratorio de aguas y suelos – UTRM para el análisis físico – químico. Se determinaron la clase textural, porcentaje de materia orgánica (MO), concentración de iones hidrogeno [H]<sup>+</sup>(pH), niveles de fósforo y potasio.

#### **Datos Senamhi**

Datos hidrometeorológicos se tomaron de la página principal de SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>) para saber la precipitación, clima, etc.



### 3.3.3 Determinar el porcentaje de colonización micorrícica en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho.

#### a) Colecta de raíces

Se colectó aleatoriamente muestras biológicas (raíces) de 135 plantas de cacao (5 plantas/ 27 parcelas/ 27 distritos/ 9 provincias/3 departamentos). Se colectó raíces de plantas de cacao que se encontraban a un metro del tallo principal de la planta, evitando destruir la pared cortical de las raíces. Las muestras colectadas se codificaron por localidad y fueron secadas a temperatura ambiente para su posterior traslado al laboratorio para el análisis correspondiente (Figura 6).



**Figura 6.** A y B: Extracción y acondicionamiento de raíces de plantas de cacao.

#### b) Selección y conservación de muestras biológicas.

Las raíces obtenidas se limpiaron a fondo para expulsar cualquier partícula de tierra u otros residuos adheridos. Se eligieron las raíces secundarias y terciarias (más finas) y se cortaron en trozos de 1-2 centímetros antes de introducirlos en tubos falcón de 50ml (Figura 7). Se conservó en una solución de alcohol (70%) para su posterior análisis.

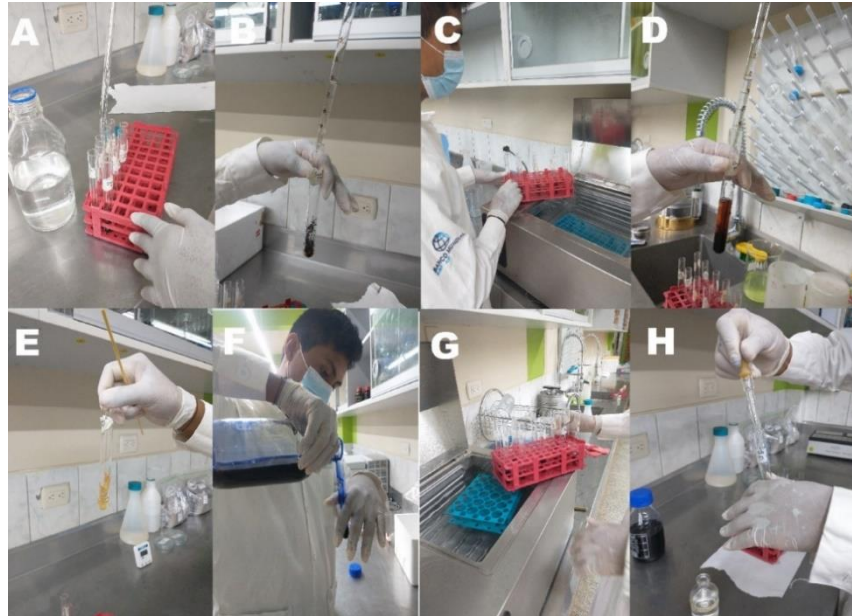


**Figura 7.** Tubos falcón conteniendo de raíces de cacao con solución de alcohol al 70%.

### **c) Tinción de raíces**

Para determinar la presencia de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en las raíces de las 135 muestras colectadas, empleamos los métodos de aclareo y tinción (Figura 8) establecido por Vierheilig et al. (1998), ajustado para raíces leñosas utilizando la siguiente metodología:

Las raíces fueron puestas en reposo con solución de KOH (10%) por 24 horas, después se limpiaron hirviéndolas en baño maría a 90°C para remover el contenido citoplasmático y clarificar el tejido cortical, y luego se enjuagaron varias veces con agua corriente (Agua de grifo), para blanquear los pigmentos de la raíz se utilizó agua oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) durante 1 minuto, después se vuelven a enjuagar las raíces con agua de grifo, para teñir las Raíces se utilizó tinta Parker Quink (5,26%) se dejaron 10 minutos en temperatura ambiente y 5 minutos en baño maría a 90°C, luego se descartó el excedente de tintan Parker, Finalmente, las agrego lacto glicerol a las raíces teñidas para su conservación y evaluación.



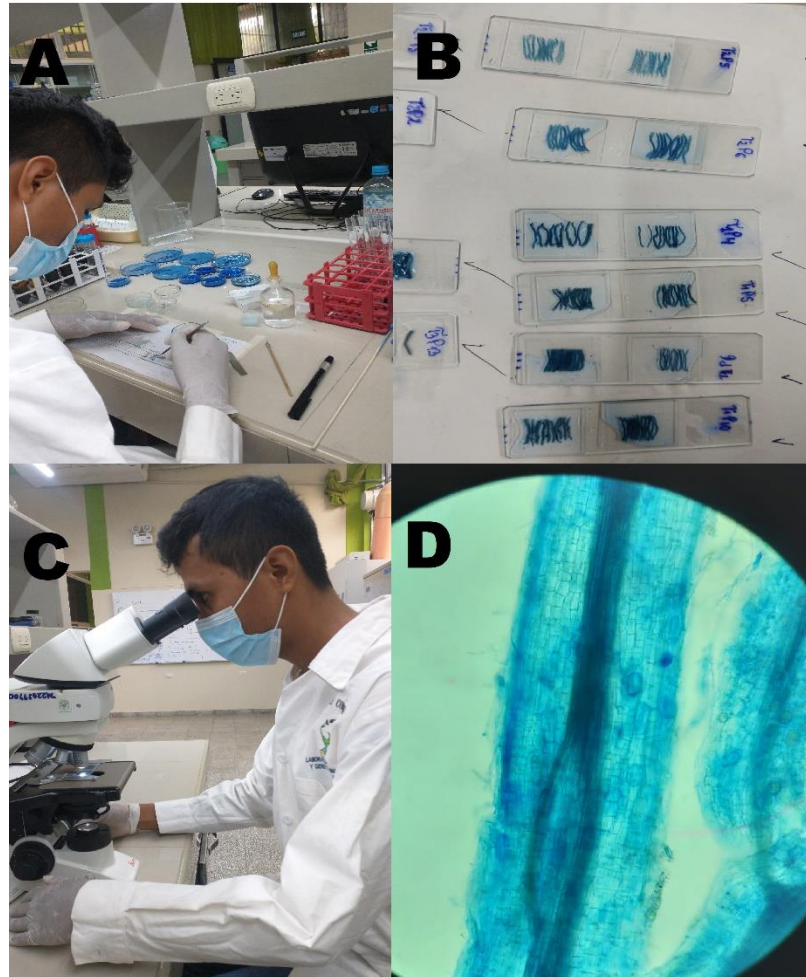
**Figura 8.** Tinción de raíces de cacao, A y B: Raíces de cacao con KOH (10%) en tubos de ensayo, C: Colocado de muestras en baño maría a 90 °C, D: Adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 20 volúmenes, E: Raíces lavadas y enjuagadas en agua de grifo, F: Adición de tinta Parker Quink 5,7% a las raíces. G: Gradas con tubos de ensayo en baño maría con tinta Parker, H: Adición de lacto glicerol para conservar las raíces.

#### d) Estimación del grado de colonización micorrícica.

Brundett (1996), recomendó trazar 3 líneas paralelas perpendiculares a los segmentos superior, medio e inferior de las raíces y evaluar la presencia o ausencia de estructuras micorrícicas (Hifas, arbusculos o vesículas) en el punto de intersección de la línea con la Raíz (20 raíces x 3 puntos en cada una = 60 puntos de intersección) Figura 9, la proporción de colonización micorrícica se estimó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Colonizacion} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de puntos con presencia de estructuras micorrízicas}}{\text{N}^\circ \text{ total de puntos evaluados}} \times 100$$





**Figura 9.** Estimación del porcentaje (%) de colonización en Cacao A: Montaje paralelo de 20 fragmentos de raíces teñidas en láminas porta objetos, B: Laminas montadas con 20 fragmentos de raicillas, C: Evaluación en el microscopio a aumento 40 X, D: Vista de una raíz teñida en un microscopio ocular.



## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Identificación y descripción taxonómica de HMA

Se identificaron un total de 8 familias, 17 géneros y 67 especies, las cuales se describe en la tabla 4.

**Tabla 4.**

*Descripción de HMA, Familia, género y especie asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

FAMILIA	GENERO	ESPECIE
Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulora rugosa</i>
		<i>Acaulospora aff noloidea</i>
		<i>Acaulospora aff rehmi</i>
		<i>Acaulospora aspera</i>
		<i>Acaulospora cavernata</i>
		<i>Acaulospora denticulata</i>
		<i>Acaulospora dilatata</i>
		<i>Acaulospora excavata</i>
		<i>Acaulospora flava</i>
		<i>Acaulospora foveata</i>
		<i>Acaulospora lacunosa</i>
		<i>Acaulospora leavis</i>
		<i>Acaulospora longula</i>
		<i>Acaulospora mellea</i>
		<i>Acaulospora morrowiae</i>
		<i>Acaulospora reducta</i>
		<i>Acaulospora scrobiculata</i>
		<i>Acaulospora sieverdingii</i>
		<i>Acaulospora sp.</i>
		<i>Acaulospora spinosa</i>
<i>Acaulospora spinosissima</i>		
<i>Acaulospora splendida</i>		
<i>Acaulospora spunilifera</i>		
<i>Acaulospora tuberculata</i>		
Ambisporaceae	Ambispora	<i>Ambispora appendicula</i>
		<i>Ambispora fennica</i>
		<i>Ambispora sp.</i>
Racocetraceae	Cetraspora	<i>Cetraspora gilmorei</i>
		<i>Cetraspora pellucida</i>
		<i>Cetraspora sp.</i>
Entrosphosporaceae	Clareidoglomus	<i>Clareidoglomus sp2</i>
		<i>Claroideoglomus aff hanlinii</i>
		<i>Claroideoglomus claroideum</i>

		<i>Claroideoglopus etunicatum</i>
		<i>Claroideoglopus</i> sp.
Diversisporaceae	Corymbiglopus	<i>Corymbiglopus corymbiforme</i>
	Diversispora	<i>Diversispora aff spurca</i>
		<i>Diversispora Sinuosa</i>
		<i>Diversispora</i> sp.
Glomeraceae	Dominikia	<i>Dominikia aff aurea</i>
		<i>Dominikia sp aff bernensis</i>
	Funneliformis	<i>Funneliformes aff messea</i>
		<i>Funneliformes geosporum</i>
		<i>Funneliformes</i> sp.
		<i>Funneliformis aglonatus</i>
	Funneliglopus	<i>Funneliglopus Sanmartinensis</i>
	Glomus	<i>Glomus aff brohultti</i>
		<i>Glomus albidum</i>
		<i>Glomus ambisporum</i>
		<i>Glomus atrouva</i>
		<i>Glomus badium</i>
		<i>Glomus fasciculatum</i>
<i>Glomus glomerulatum</i>		
<i>Glomus macrocarpum</i>		
<i>Glomus magnicaule</i>		
<i>Glomus spinuliferum</i>		
Halonatospora	<i>Halonatospora pansihalos</i>	
Paraglomeraceae	Paraglopus	<i>Paraglopus laccatum</i>
		<i>Paraglopus turpe</i>
Glomeraceae	Rhizoglopus	<i>Rhizoglopus microaggregatum</i>
	Sclerocystis	<i>Sclerocystis sinuosa</i>
Scutellosporaceae	Scutellospora	<i>Scutellospora dipurpurancens</i>
Glomeraceae	Septoglopus	<i>Septoglopus aff titan</i>
		<i>Septoglopus constrictum</i>
		<i>Septoglopus nigrum</i>
Diversisporaceae	Tricispora	<i>Tricispora</i> sp.

El género *Aucalospora* fue el que tuvo la mayor riqueza de especies (31,58%), seguido *Glomus* (13,16%), los demás géneros variaron entre 1,32% - 6,59% (Tabla 4).

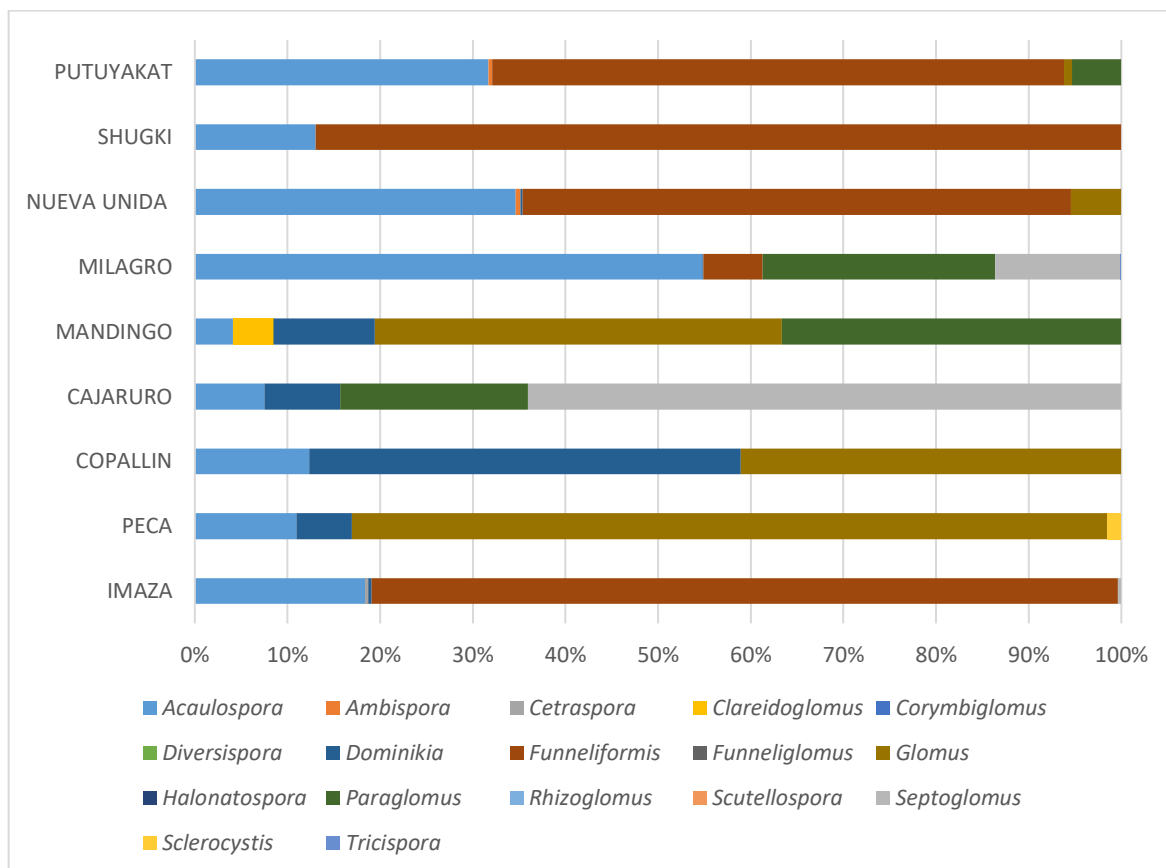
Vega-Herrera et al. (2022), en un estudio de revisión mencionan que para el Perú se han reportado un total de 93 especies pertenecientes a las tres clases (Archaeosporomycetes, Glomeromycetes, Paraglomeromycetes) y cuatro órdenes (Archaeosporales, Diversisporales, Glomerales, Paraglomerales) dentro de Glomeromycota. De las 16 familias reportadas actualmente a nivel mundial (Wijayawardene et al. 2020), 9 fueron reportadas en Perú (Archaeosporaceae, Ambisporaceae, Acaulosporaceae, Diversisporaceae, Pacisporaceae, Gigasporaceae,

Claroideoglomeraceae, Glomeraceae, y Paraglomeraceae) y un total de 24 géneros, los más representativos fueron *Acaulospora*, *Glomus*, *Rhizophagus*, *Diversispora*, *Ambispora* y *Paraglomus*. En nuestro estudio, al evaluar 27 localidades se reportó 31 especies *Acaulospora noloidea*, *Acaulospora dilatata*, *Acaulospora reducta*, *Acaulospora sieverdingii*, *Acaulospora sp*, *Acaulospora splendida*, *Acaulospora spunilifera*, *Ambispora sp*, *Cetraspora gilmorei*, *Cetraspora sp*, *Claroideoglomus sp 2*, *claroideoglomus hanlinii*, *Claroideoglomus sp*, *Corymbiglomus corymbiforme*, *Diversispora Sinuosa*, *Diversispora sp*, *Dominikia bernensis*, *Funeliformes sp*, *Glomoide funeliformis aglonatus*, *Glomus albidum*, *Glomus atrouva*, *Glomus badium*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus glomerulatum*, *Glomus magnicaule*, *Halonatospora pansihalos*, *Paraglomus turpe*, *Scutellospora dipurpurancens*, *Septoglomus titan*, *Septoglomus nigrum*, *Tricispora sp*; 4 géneros *Cetraspora*, *Halonatospora*, *Rhizoglomus*, *Tricispora* y 2 familias Racocetraceae, Scutellosporaceae no reportadas por Vega-Herrera et al. (2022), considerando que de las 67 especies reportadas en el presente estudio 8 se han reportado como *sp*, por lo tanto, se considera que podrían ser nuevas especies, siendo un gran aporte para la ciencia en el estudio de diversidad de HMA en el Perú (Tabla 4).

Vega-Herrera et al. (2022), reportó la diversidad de HMA en las regiones de Loreto, San Martín, Amazonas, Huánuco, Ucayali, Madre de Dios, Junín, Huancavelica, Ayacucho. En este contexto en el estudio de diversidad de HMA en diferentes ecosistemas de cacao para las regiones Amazonas, San Martín, Ayacucho y Cusco, se evidenció especies a un no reportadas para el Perú, contribuyendo acrecentar con la diversidad HMA reportada en el Perú.

Las 67 especies, 17 géneros y 8 familias reportadas en los 27 ecosistemas productivos del Perú evaluados, fue mayor que la diversidad reportada por otros autores, como Hernández et al. (2017), quienes al evaluar la diversidad de hongos micorrícicos arbusculares asociados a clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Yopal, Casanare-Colombia, lograron identificar 11 morfotipos, clasificados en las familias Glomeraceae con el género *Glomus* y Acaulosporaceae con el género *Acaulospora*, siendo el género *Glomus* el más abundante. Así mismo, Vallejo-Torres et al. (2022), reportó 8 especies de HMA y una posible nueva especie (*Unidentified taxa*) asociadas al cultivo de cacao. Corazon-Guivin et al. (2020), reportó una nueva especie en cultivares de cacao en la región de San Martín *Rhizoglomus cacao*. En la presente investigación se ha realizado el reporte de 8 especies desconocidas que podrían ser nuevas especies identificadas en el Perú, brindando un aporte significativo a la diversidad de HMA en Perú.

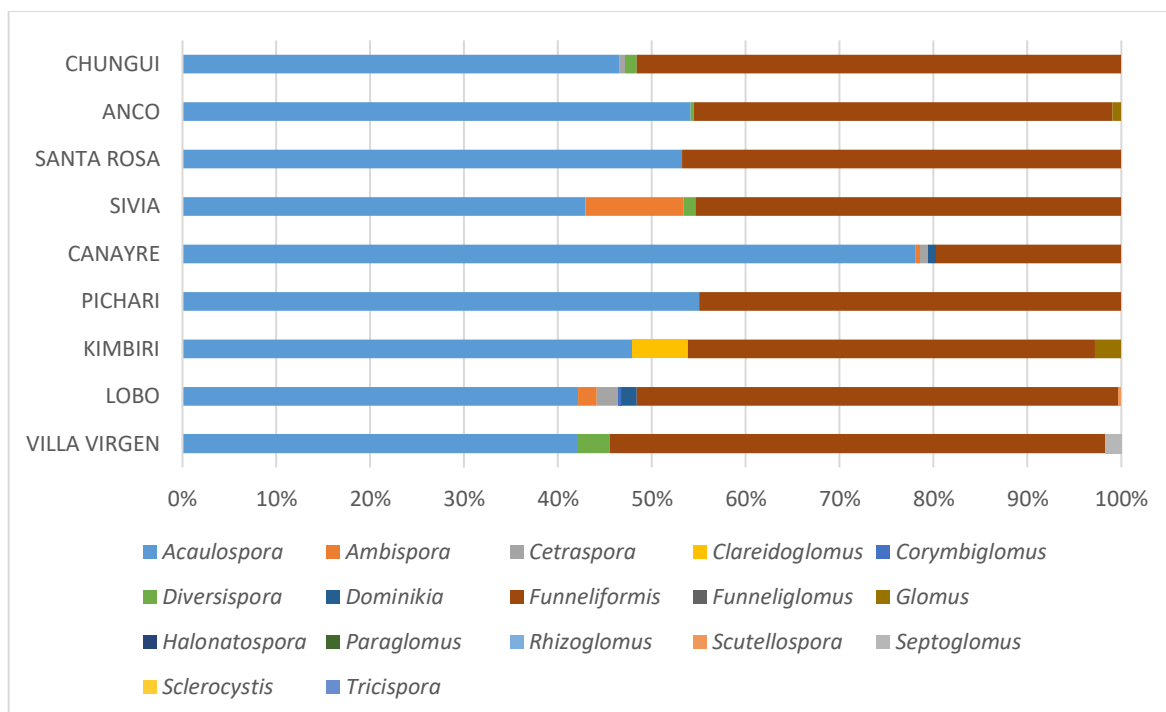
En la presente investigación se evaluaron 3 regiones con mayor producción, de los cuales se encontraron los siguientes resultados:



**Figura 10.** Diversidad de HMA por género asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas de cacao en Amazonas – Perú.

En la región de Amazonas (Figura 10) se reportaron 17 géneros, existiendo una mayor diversidad de especies en el género *Funneliformis*, estando presentes únicamente en 5 localidades (Putuyakat, Shughi, Nueva unida, Milagro y Imaza). A diferencia del género *Acaulospora* que está presente en las 9 localidades de la región Amazonas, presentando una menor riqueza de especies. También se puede observar que el género *Sclerocystis* está presente solo en la localidad de La Peca, de igual manera el género *Clareidoglomus* que solo está presente en la localidad de Mandingas. A comparación de los demás géneros que están presentes en 2 o más localidades.

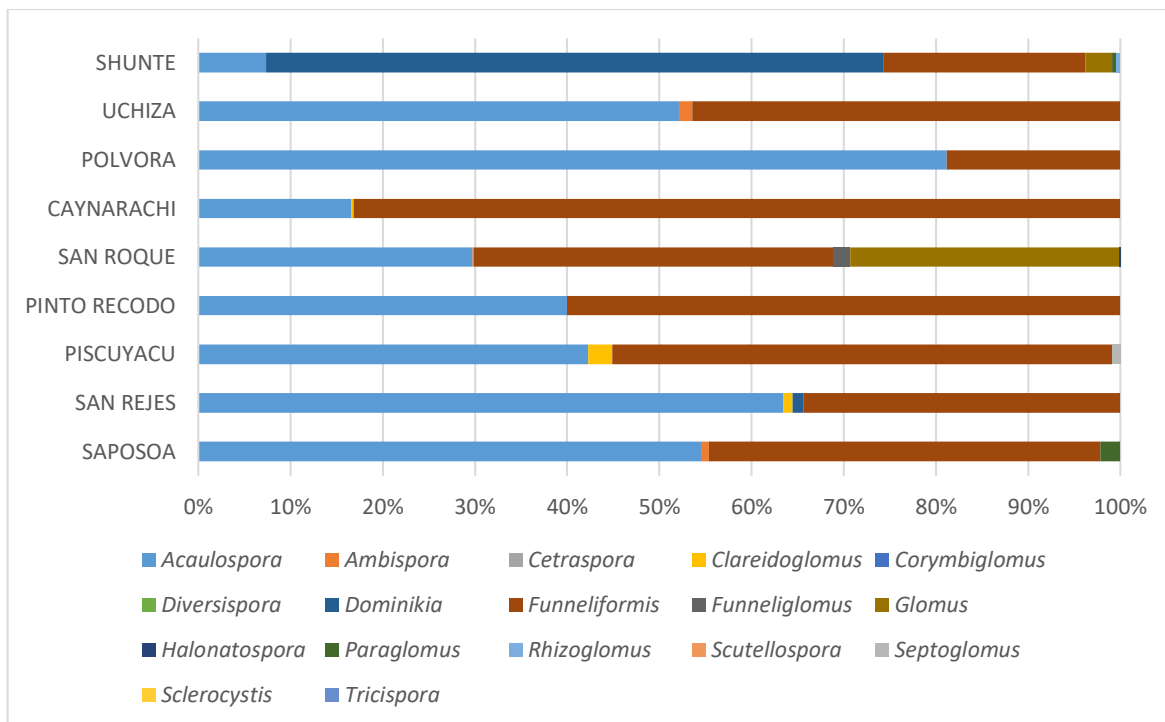
Llanos (2020), en un estudio realizado en la región de Amazonas, reportó 5 familias de HMA: Glomeracea (60%), Acaulosporacea (28%), Gigasporaceae (6%), Scutellosporaceae (4%) y Diversisporaceae (2%); en tanto, en nuestro estudio reportamos 17 géneros distribuido en 8 familias siendo el género *Funneliformis* (Familia Glomeracea) el más representativo.



**Figura 11.** Diversidad de HMA por género asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas de cacao en Cusco y Ayacucho – Perú.

En las regiones de Ayacucho y Cusco (VRAEM) (Figura 11) se reportó 17 géneros, existiendo una mayor diversidad de especies del género *Funneliformis* y *Acaulospora*, estando presente en 9 localidades muestreadas en las regiones de Ayacucho y Cusco. También se puede observar que el género *Scutellospora* se encuentra presente en 1 localidad (Lobo), de la misma manera el género *Clareidoglomus* está presente en la localidad de Kimbiri.

Esquivel-Quispe (2020), en un estudio realizado en la región Ayacucho reportó cinco géneros de HMA *Claroideoglomus*, *Funneliformis*, *Gigaspora*, *Entraphospora*, *Glomus*, *Sclerocystis*, asociados al cultivo de maíz; en tanto, en nuestro estudio reportamos 17 géneros siendo el género *Funneliformis* (Familia Glomeraceae) y el género *Acaulopora* (Familia Acaulosporaceae), obtenido el primero reporte de HMA en estas regiones.



**Figura 12.** Diversidad de HMA por género asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas de cacao en San Martín – Perú.

En la región de San Martín (Figura 12) se reportó 17 géneros, existiendo una mayor diversidad de especies en el género *Acaulospora* y *Funneliformis*, estando presentes en las 9 localidades (Shunté, Uchiza, Pólvora, Caynarachi, San Roque, Pinto Recodo, Piscuyacu, San Rejes, Saposoa), a diferencia del género *Dominikia* que se encuentra presente solo en 1 localidad (Shunté). Los demás géneros se encuentran distribuidos en pocas cantidades en las localidades de (Saposoa, San Rejes, Piscuyacu, San Roque y Uchiza).

Vallejo-Torres et al. (2022), en un estudio realizado en la región de San Martín, reportó 8 especies de HMA *Claroideoglomus* sp., *Acaulospora scrobiculata*, *Diversispora aurantia*, *Microkamienskia* sp., *Microkamienskia peruviana*, *Diversispora* sp., *Claroideoglomus etunicatum*, siendo *Claroideoglomus* sp. Rojas (2010), estudio diferentes fincas de cacao bajo dos sistemas de producción y reportó 21 morfotipos de hongos micorrícicos arbusculares, obteniendo la familia Glomeraceae con 17 morfotipos del género *Glomus* y la familia Acaulosporaceae con 4 morfotipos del género *Acaulospora*, siendo el género *Glomus* el más predominante. En tanto, en nuestro estudio reportamos 17 géneros distribuidos en 8 familias, siendo en el género *Acaulospora* (Familia Acaulosporaceae) y el género *Funneliformis* (Familia Glomeraceae). Así mismo, en un estudio realizado por Luis-Alaya et al. (2023), demostró

que las familias Archaeosporaceae, Acaulosporaceae, Glomeraceae y Paraglomeraceae son las que más se asocian a las plantaciones de cacao.

#### 4.2 Descripción de Diversidad de HMA

Para la descripción de la diversidad se evaluaron diferentes parámetros (Riqueza, Simpson, Shannon) de los cuales se describen a continuación:

##### Riqueza:

En la tabla 5 se puede observar los valores de la riqueza específica por localidad de cada región.

**Tabla 5.**

*Parámetros de riqueza de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

REGION	LOCALIDAD	RIQUEZA
AMAZONAS	IMAZA	11
	LA PECA	9
	COPALLIN	7
	CAJARURO	5
	MANDINGAS	2
	MILAGRO	10
	NUEVA UNIDA	12
	SHUGKI	5
	PUTUYAKAT	10
CUSCO	VILLA VIRGEN	12
	LOBO	16
	KIMBIRI	14
	PICHARI	7
AYACUCHO	CANAYRE	11
	SIVIA	10
	SANTA ROSA	5
	ANCO	10
	CHUNGUI	9
SAN MARTÍN	SAPOSOA	11
	SAN REJES	11
	PISCUYACU	11
	PINTO	7
	RECODO	
	SAN ROQUE	17

CAYNARACHI	11
PÓLVORA	7
UCHIZA	8
SHUNTÉ	13

La localidad de San Roque presentó mayor riqueza de especies (17), segundo Lobo (16), las demás localidades variaron entre 2 - 14 (Tabla 5)

Arteaga (2019), en un estudio realizado en 12 fincas cafetaleras en la región San Martín, reportó que riqueza de especies varió de 4 a 15. En nuestro estudio, al evaluar 12 localidades, la riqueza de especies varió de 2 a 17. Así mismo, Pacheco et al. (2022), en un estudio realizado en Ecuador evaluando la diversidad plantaciones de cacao con dos prácticas de cultivo (Conservadoras y semiconservadoras), demostraron que tipo de manejo conservador tenía mayor riqueza de HMA en comparación de un practica de cultivo semiconservadora.

El ANOVA con un nivel de significancia del 0,05%, reveló que no hay diferencia significativa en la riqueza específica entre de las regiones (Tabla 6).

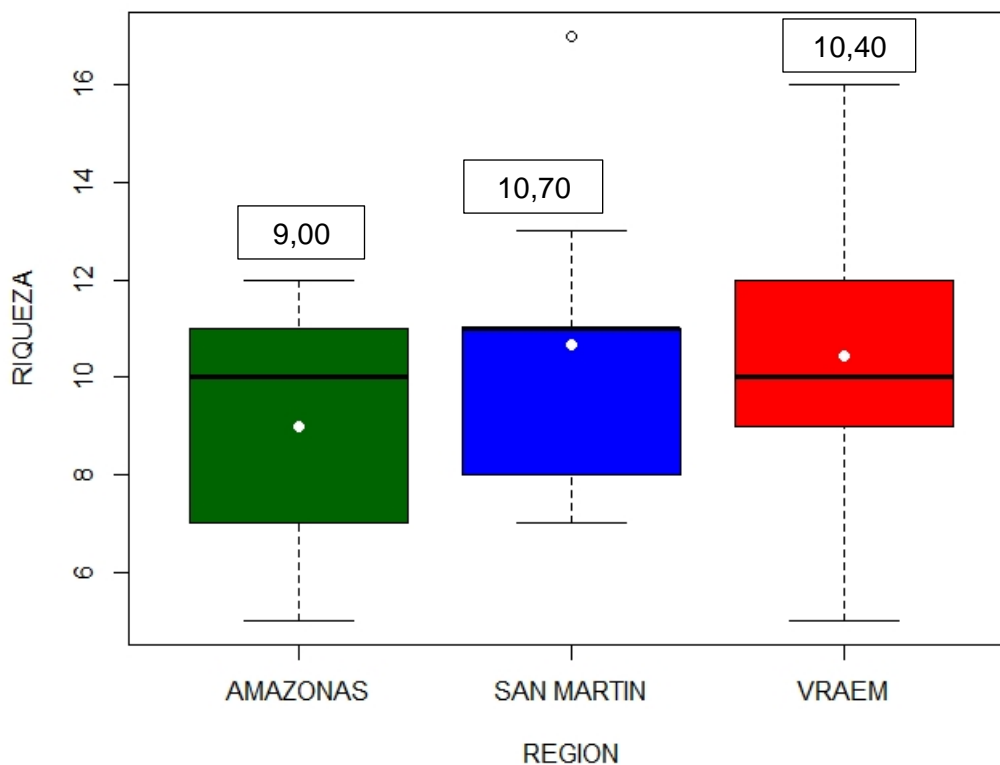
**Tabla 6.**

*ANOVA de Riqueza de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

	GL	SC	CM	FC	Pr>Fc
<b>Tratamiento</b>	2	14,741	7,3704	0,76834	0,47486
<b>Residuo</b>	24	230,222	9,5926		
<b>Total</b>	26	244,963			

Con respecto a la riqueza en función de las tres regiones evaluadas, la figura 13 muestra que no hay diferencia estadísticamente significativa en el promedio de riqueza entre las tres regiones, Sin embargo, se puede observar que el promedio de riqueza específica de la región San Martín (10,67) es mayor que de las regiones VRAEM (10,40) y Amazonas (9,00).





**Figura 13.** Riqueza específica de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.

Al no encontrar diferencia significativa en la riqueza de especies HMA existentes en la rizosfera de plantas de cacao en las regiones en investigación, la presente investigación se relaciona de manera negativa con lo mencionado por Barrios (2017), que la diversidad y la adaptación de estos microorganismos esta influenciada por las características del suelo (textura, pH, humedad, propiedades fisicoquímicas, etc.), sin embargo, Arias et al. (2012), menciona que la riqueza de especies indica la diversidad especies HMA en un lugar específico.

### Índice de Simpson

El índice de Simpson con relación a las 27 localidades, comprendida entre los rangos 0,19 y 0,76 entre los cuales encontramos de las localidades de la región Amazonas están comprendidas entre los rangos (0,20 – 0,77) VRAEM (0,19 – 0,36) y San Martín (0,27 – 0,70); Encontrándose el índice más bajo en la localidad de Canayre (0,19) en la región del VRAEM y el índice más alto en la localidad de Shugki (0,76) en la región de Amazonas (Tabla 7).

**Tabla 7.**

*Índice de Simpson para HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

<b>REGION</b>	<b>LOCALIDAD</b>	<b>SIMPSON</b>
<b>AMAZONAS</b>	IMAZA	0,66
	LA PECA	0,57
	COPALLIN	0,30
	CAJARURO	0,46
	MANDINGAS	0,20
	MILAGRO	0,36
	NUEVA UNIDA	0,38
	SHUGKI	0,76
	PUTUYAKAT	0,43
<b>VRAEM</b>	VILLA VIRGEN	0,32
	LOBO	0,31
	KIMBIRI	0,29
	PICHARI	0,30
	CANAYRE	0,19
	SIVIA	0,29
	SANTA ROSA	0,36
	ANCO	0,33
	CHUNGUI	0,34
<b>SAN MARTÍN</b>	SAPOSOA	0,31
	SAN REJES	0,40
	PISCUYACU	0,34
	PINTO	0,41
	RECODO	
	SAN ROQUE	0,26
	CAYNARACHI	0,70
	PÓLVORA	0,27
	UCHIZA	0,39
	SHUNTÉ	0,50

Los valores del índice Simpson de dominancia de HMA en las 27 áreas de investigación en las tres regiones mostró que la localidad de Shugki en la región del VRAEM tenía el valor más alto con 0,76. Esto está relacionado con índice de dominancia de especies que es más prevalente cuando el valor del índice de Simpson está más cerca de uno y por consiguiente existe menor diversidad (Ulfah, 2019). Esto implica que la diversidad

de HMA es menor en la localidad de Shugki, sin embargo, Canayre en la región VRAEM con 0,19 presenta el valor más bajo, esto indica que la diversidad de HMA en esta localidad es mayor. Esto se ve respaldado por los resultados del presente estudio sobre la riqueza por localidad, que contradicen la dominancia del índice de Simpson.

Estos resultados superan a los de Arteaga (2019), encontró rangos de dominancia de índice Simpson de HMA que van de 0,16 a 0,41 en plantaciones de café en las provincias de El Dorado, Lamas, San Martín y Moyobamba de la Región San Martín. Por otro lado, Acosta (2021), obtuvo índices de dominancia que van de 0,1 a 0,43 para el cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en las provincias de San Martín, Bellavista, Lamas y El Dorado. Demostrando de esta manera que el presente estudio realizado en las regiones de San Martín, Amazonas, Ayacucho y Cusco se presenta una amplia diversidad de HMA.

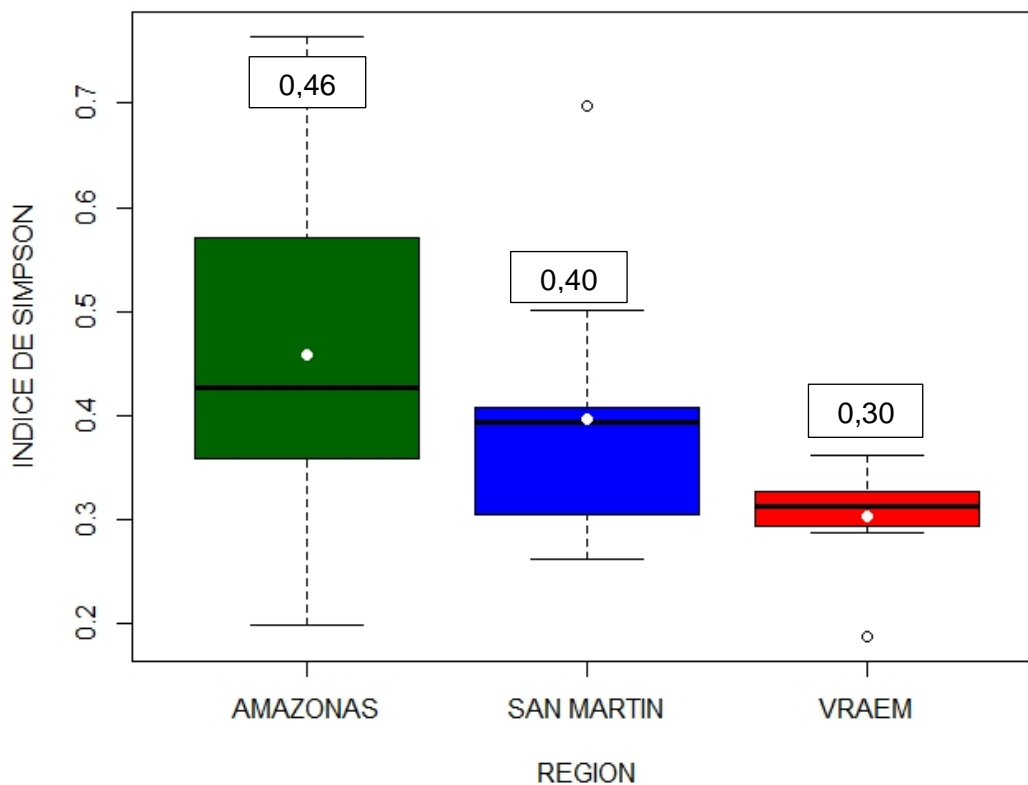
Los análisis estadísticos reveló que no había diferencia significativa en el índice de dominancia de Simpson entre las tres regiones en estudio (Tabla 8).

**Tabla 8.**

*ANOVA del índice de Simpson para HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamiento</b>	2	0,10909	0,054545	3,102	0,063352
<b>Residuo</b>	24	0,42202	0,017584		
<b>Total</b>	26	0,53111			

La figura 14, indica que no hay diferencias significativas en el índice de Simpson en las tres regiones. Sin embargo, se observó que la región de Amazonas (0,46) el índice de dominancia con respecto al promedio es superior a las regiones de VRAEM (0,30) y San Martín (0,40).



**Figura 14.** Índice de Simpson de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.

### Índice de Shannon

La diversidad del índice de Shannon de HMA asociados a plantaciones de cacao en las 27 localidades está comprendida los rangos 0,51 y 1,89, presentado la localidad de Mandingas (1,89) y Canayre (1,85) los rangos más altos a comparación de las demás localidades, Por otro lado, las localidades de Imaza, Shugki, y Caynarachi se encuentran en los rangos (0,51 – 0,84) obteniendo los índices más bajos a comparación de las demás localidades (Tabla 9).

**Tabla 9.**

*Índice de Shannon Winner para HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

REGION	LOCALIDAD	SHANON
AMAZONAS	IMAZA	0,80
	LA PECA	1,00
	COPALLIN	1,40
	CAJARURO	1,06
	MANDINGAS	1,89

	MILAGRO	1,30
	NUEVA UNIDA	1,42
	SHUGKI	0,51
	PUTUYAKAT	1,25
	VILLA VIRGEN	1,56
	LOBO	1,63
	KIMBIRI	1,64
	PICHARI	1,40
<b>VRAEM</b>	CANAYRE	1,85
	SIVIA	1,48
	SANTA ROSA	1,08
	ANCO	1,36
	CHUNGUI	1,43
	SAPOSOA	1,48
	SAN REJES	1,22
	PISCUYACU	1,52
	PINTO RECODO	1,23
<b>SAN MARTÍN</b>	SAN ROQUE	1,65
	CAYNARACHI	0,73
	PÓLVORA	1,53
	UCHIZA	1,16
	SHUNTÉ	1,00

El índice de Shannon de HMA de las 27 localidades en investigación en las tres regiones productivas mostró que la localidad de Shugki en la región de Amazonas presenta el menor valor con 0,51 consecuente también tiene el mayor índice de dominancia de Simpson de HMA, demostrando precisamente que es la localidad con la menor diversidad de HMA. Se cree que los valores encontrados en este estudio están determinados por las especies de HMA y su distribución (Ma et al., 2020). Esto podría deberse a cambios en los nutrientes de suelo, que reducen o eliminan la dominancia de algunas especies de hongos, mientras aumenta de otras (Camenzind et al., 2014). Además, investigaciones recientes han indicado que la adición de nutrientes mediante fertilización química afecta a la diversidad y abundancia de HMA (Carrara et al., 2018).

La localidad de Mandingas, en la región amazonas, presenta el mayor valor del índice de Shannon de diversidad de HMA, con 1,90. Las localidades restantes (excluyendo Shugki) no difieren considerablemente de Mandingas, con valores del índice de Shannon que oscilan entre 0,72 y 1,85. Estos resultados superan a los publicados por

Arteaga (2019), quien obtuvo valores del índice de Shannon de 1,11 a 1,6 para HMA en café en la provincia El Dorado. Demostrando así de esa manera que la diversidad de Shannon Wiener en las regiones de San Martín, Amazonas, Ayacucho y Cusco no presenta diferencias entre las 27 localidades a pesar de estar en ecosistemas diferentes, a comparación de otros estudios donde se evidenció mayor diferencia entre localidades estando dentro de una misma región.

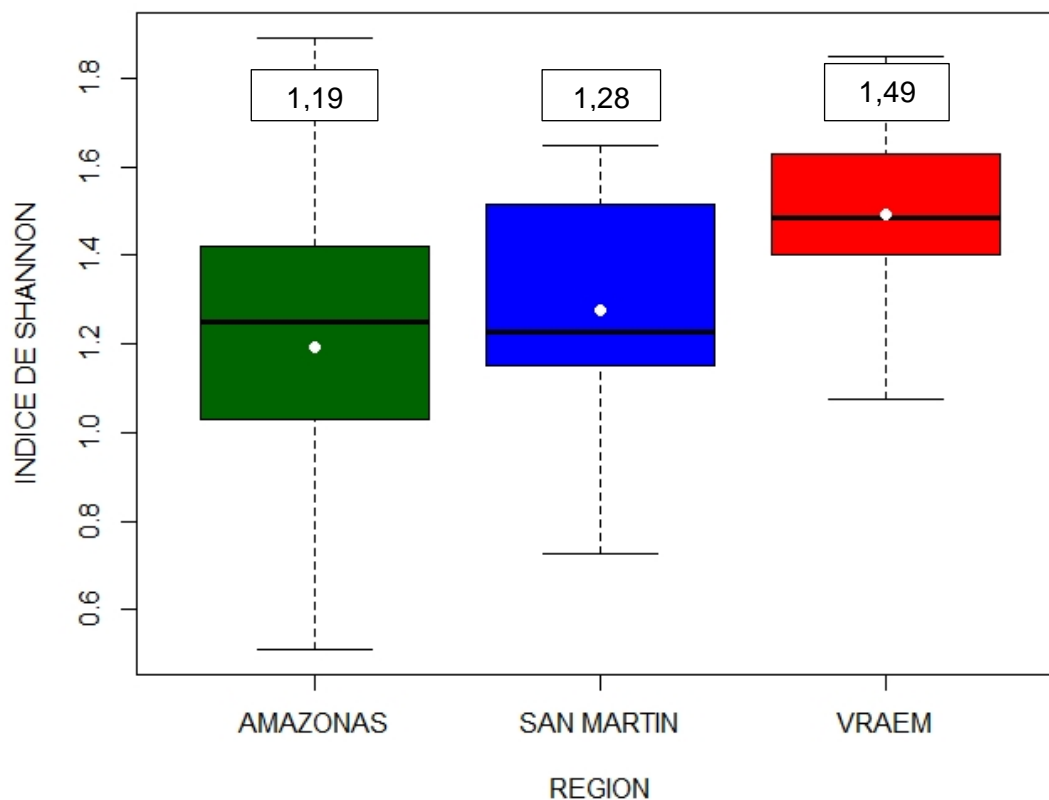
El análisis estadístico de varianza reveló que no hay diferencia significativa en el índice de diversidad de Shannon de HMA en función de las tres regiones (Tabla 10).

**Tabla 10.**

*ANOVA del Índice de Shannon Winner asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamiento</b>	2	0,43205	0,216026	2,2422	0,12801
<b>Residuo</b>	24	2,31227	0,096345		
<b>Total</b>	26	2,74433			

Con respecto a los valores de diversidad de Shannon de HMA, La Figura 15 indica que, en las tres regiones en estudio, estadísticamente no presentaron diferencias significativas, sin embargo, se puede observar que el promedio del índice de Shannon de la región VRAEM (1,49) es ligeramente mayor al de las regiones de San Martín (1,28) y Amazonas (1,19)



**Figura 15.** Índice de Shannon Winer de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.

### Densidad de HMA

La densidad de esporas en las 27 localidades está comprendida entre los rangos 43,6 y 634,8, entre los cuales encontramos que la mayor densidad presenta la localidad de Shunté (634,8) en la región de San Martín, seguidas de las localidades de Milagro (381,2) Caynarachi (318) y Cajaruro (303,6) comprendidas en las regiones de Amazonas y San Martín.

**Tabla 11.**

*Densidad de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

REGION	LOCALIDAD	DENSIDAD
AMAZONAS	IMAZA	115,20
	LA PECA	266,40
	COPALLIN	116,80
	CAJARURO	303,60
	MANDINGAS	292,40
	MILAGRO	381,20
	NUEVA UNIDA	154,80

	SHUGKI	95,20
	PUTUYAKAT	97,20
<b>VRAEM</b>	VILLA VIRGEN	115,20
	LOBO	122,40
	KIMBIRI	114,40
	PICHARI	43,60
	CANAYRE	93,20
	SIVIA	129,60
	SANTA ROSA	198,40
	ANCO	125,60
	CHUNGUI	62,80
<b>SAN MARTÍN</b>	SAPOSOA	112,00
	SAN REJES	202,40
	PISCUYACU	183,60
	PINTO	205,20
	RECODO	
	SAN ROQUE	289,20
	CAYNARACHI	318,00
	PÓLVORA	46,80
	UCHIZA	168,00
	SHUNTÉ	634,80

La diferencia encontrada para densidad de esporas en las 27 localidades distribuidas en las tres regiones estudiadas, está relacionada con los parámetros fisicoquímicos del suelo, que pueden ser materia orgánica, fósforo, densidad aparente (Pérez et al., 2015). Para el presente estudio, la localidad de Shunté (634,80) presentó el mayor número de esporas / 50 gramos de suelo, esto se correlaciona de manera positiva con el contenido de fosforo (49,17ppm) el valor más alto en las 27 localidades, coincidiendo con las apreciaciones del estudio presentado por Pérez et al., (2015) y lo mencionado por Ushio et al (2015) que a mayor disponibilidad de fosforo se presenta mayor cantidad de esporas.

Por otro lado, Titus et al. (2002), estudiaron la densidad de esporas en micrositios, que diferían en características como la presencia de rocas o plantas, en un entorno volcánico, encontrando densidades bajas, pero variaciones sustanciales. Estos hallazgos indican que la localización geográfica no tiene un efecto importante, ya que hay localidades que tienen valores similares estando en regiones separadas, y localidades que tienen valores diferentes a pesar de estar más cercanas. Esto puede



estar influenciado por la diversidad del suelo y las especies que forman microsistemas, así mismo, la presencia de especies vegetales en las plantaciones de cacao puede haber influido en el hecho de que no exista diferencias significativas en la densidad de esporas.

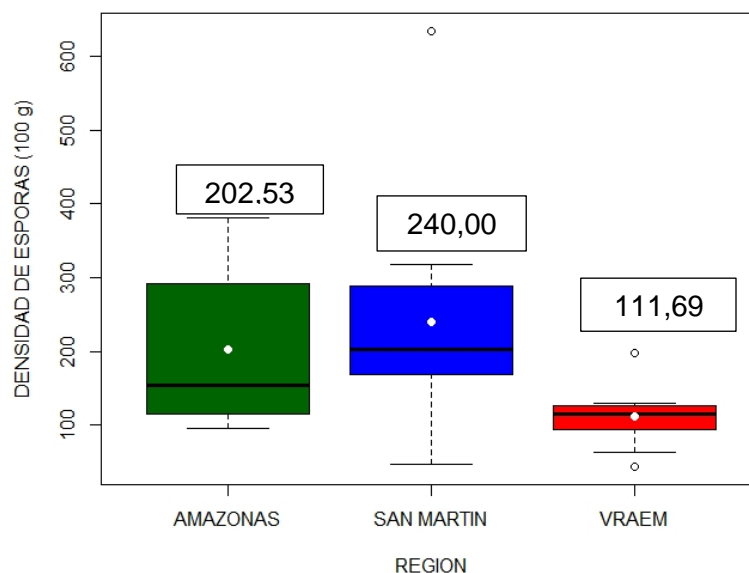
El ANOVA señala que no hay diferencia significativa en densidad de HMA en las tres regiones (Tabla 12).

**Tabla 12.**

*ANOVA de la densidad de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamiento</b>	2	78361	39180	2,7757	0,082337
<b>Residuo</b>	24	338770	14115		
<b>Total</b>	26	417130			

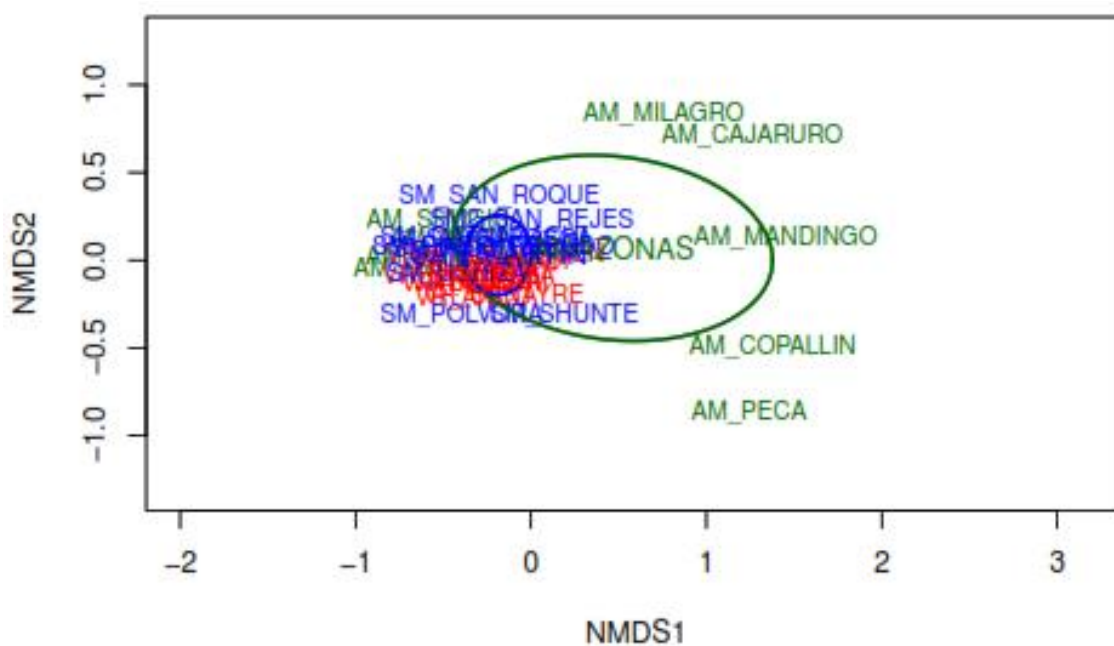
Con respecto a los valores de la densidad de HMA, la figura 16 muestra que, en las tres regiones en estudio, estadísticamente no se presentan diferencias significativas, estos estudios se relacionan con los presentados por Arévalo (2016), en el cual no detectó diferencia significativa a pesar de la considerable distancia entre localidades, lo que implica que las regiones con menos distancia se esperaría que esta variabilidad fuera menor debido a características climáticas y patogenéticas similares. Sin embargo, se puede observar que el promedio de la densidad de HMA la región de San Martín (240,00) es ligeramente mayor a regiones de Amazonas (202,53) y VRAEM (111,69), interesantemente en la región de San Martín se encontraron los mayores valores de fósforo, relacionado con lo mencionado por Pérez et al. (2015) y Ushio et al. (2015).



**Figura 16.** Densidad de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.

#### 4.3 Distribución geográfica de HMA.

La distribución geográfica de las 27 localidades muestreadas en las tres regiones del Perú, se puede observar que cinco localidades se encuentran fuera de la elipse, y también podemos ver que veintidós de ellas se encuentran dentro del eclipse cercanas entre sí.



**Figura 17.** Distribución de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.

Con respecto a la distribución geográfica de HMA por localidades, en la Figura 17 se observa que la mayoría de localidades se encuentran dentro del elipse Hotelling, lo cual indica que no existe diferencias mayores entre las localidades, con algunas dispersiones que pueden estar dadas por pequeñas diferencias. Sin embargo, aquellas localidades que se encuentran o que caen fuera de la elipse presentan características diferentes a las demás.

Las localidades de Shunté, Uchiza, Pólvora, Pongo de Caynarachi, San Roque, Pinto Recodo, San rejes, Saposoa, Piscuyacu, Chungui, Anco, Santa Rosa, Sivia, Canayre, Pichari, Kimbiri, Lobo, Villa Virgen, Imaza, Shugki, Putuyakat y Nueva unida se encuentran dentro del elipse, por lo que podemos decir que no existen diferencia entre estas localidades, esta similitud puede estar dada, por propiedades físico-químicas del suelo, densidad de esporas y colonización (Arévalo, 2016). Siguiendo el modelo de Varma (2008), en la distribución geográfica hipotetiza que especies similares de micorrizas pueden encontrarse en estas zonas, permitiendo realizar predicciones basadas en las características edafoclimáticas del lugar, para una adecuada cartografía de las micorrizas existentes en nuestros ecosistemas, tomando como referencia especies de otros países con climas similares.

Las localidades de Milagro, Cajaruro, Mandingas, Copallin y La Peca todas de la región de Amazonas se encuentran fuera de la elipse de Hotelling, por lo que podemos decir que estas localidades son muy diferentes a las demás que puede estar dado por las propiedades físico-químicas del suelos, densidad de esporas y colonización mencionado por Arévalo (2016), o por otras condiciones como lo mencionado por Vega-Herrera et al. (2022), que los mayores reportes de HMA se han dado en la región Amazónica y que eso puede estar influenciado posiblemente por la presencia de diferentes tipos de bosques y una alta diversidad de plantas.

Las características edáficas en cada localidad de estudio varían; cada uno de estos parámetros ha sido descrito en estudios previos como impactante en la diversidad de HMA. En la Tabla 13 resume los resultados de los análisis físicoquímicos del suelo realizados en 27 localidades en tres regiones San Martín, Amazonas y el VRAEM.

Tabla 13.

Análisis de suelo de parámetros físico - químicos de 27 localidades en tres regiones del Perú.

LOCALIDAD	ph (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	P ppm	K ppm	C %	M.O %	N %	Arena %	Limo %	Arcilla %	CIC meq/ 100g	Ca <sup>+2</sup> meq/ 100g	Mg <sup>+2</sup> meq/ 100g	K <sup>+</sup> meq/ 100g	Na <sup>+</sup> meq/ 100g	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup> meq/ 100g	Suma de cationes	Suma de bases	% sat. De Bases
IMAZA	5,47	0,10	8,87	49,02	2,35	4,05	0,20	55,60	35,40	9,00	11,52	6,35	1,67	0,16	0,19	0,01	8,38	8,37	72,47
LA PECA	6,42	0,35	14,16	376,91	4,17	7,17	0,36	72,00	14,80	13,20	29,92	20,52	5,35	1,19	0,25	0,00	27,30	27,30	91,25
COPALLIN	7,19	0,46	20,12	324,63	4,21	7,26	0,36	68,40	12,80	18,80	31,34	23,38	6,90	0,88	0,29	0,00	31,34	31,34	100,00
CAJARURO	8,07	0,21	12,97	249,57	2,93	5,06	0,25	41,00	16,00	43,00	33,09	27,98	4,10	0,69	0,33	0,00	33,09	33,09	100,00
MANDINGAS	7,55	0,19	19,86	419,85	2,45	4,23	0,21	52,18	18,82	32,00	34,46	26,45	6,36	1,19	0,46	0,00	34,46	34,46	100,00
MILAGRO	8,53	0,30	28,80	392,08	2,24	3,86	0,19	31,60	36,40	32,00	34,66	27,38	6,00	0,85	0,42	0,00	34,66	34,66	100,00
NUEVA UNIDA	5,58	0,16	8,70	238,47	2,99	5,15	0,26	61,60	24,40	14,00	17,92	11,26	2,77	0,51	0,35	0,08	14,98	14,90	83,22
SHUGKI	4,73	0,10	7,70	92,62	2,40	4,14	0,21	73,60	14,00	12,40	8,16	2,18	0,46	0,18	0,34	0,76	3,92	3,16	37,67
PUTUYAKAT	4,60	0,10	6,08	128,25	2,10	3,62	0,19	66,60	17,00	16,40	11,20	2,96	0,53	0,27	0,35	2,23	6,33	4,10	36,77
VILLA VIRGEN	6,67	0,15	28,40	252,44	2,90	4,99	0,25	64,00	21,60	14,40	16,75	11,16	3,26	0,49	0,33	0,00	15,25	15,25	90,40
LOBO	6,39	0,13	3,96	188,69	2,40	4,14	0,21	67,60	19,20	13,20	12,73	7,75	1,99	0,40	0,37	0,00	10,50	10,50	81,65
KIMBIRI	6,33	0,11	8,00	103,67	2,40	4,14	0,21	63,20	24,60	12,20	15,04	8,52	2,66	0,18	0,34	0,00	11,70	11,70	77,59
PICHARI	6,31	0,09	14,24	224,22	2,20	3,79	0,19	83,20	8,40	8,40	14,72	9,36	2,37	0,44	0,35	0,00	12,52	12,52	85,08
CANAYRE	6,08	0,17	20,32	162,05	3,19	5,50	0,27	57,20	27,00	15,80	18,40	10,73	3,87	0,39	0,29	0,02	15,31	15,29	82,77
SIVIA	6,26	0,19	20,72	197,80	3,20	5,52	0,28	70,80	17,20	12,00	16,12	10,12	3,51	0,50	0,27	0,00	14,40	14,40	87,91
SANTA ROSA	5,53	0,15	24,55	163,21	3,99	6,88	0,34	68,40	21,00	10,60	14,88	10,09	2,24	0,40	0,19	0,10	13,02	12,92	85,73
ANCO	6,02	0,18	29,47	230,31	3,45	5,95	0,30	70,00	15,00	15,00	16,00	9,58	2,30	0,58	0,21	0,02	12,69	12,67	78,50
CHUNGUI	5,55	0,20	20,03	212,28	3,81	6,57	0,33	70,80	14,60	14,60	15,20	8,93	2,73	0,50	0,31	0,32	12,79	12,47	80,81
SAPOSOA	6,50	0,21	18,01	337,36	2,30	3,97	0,20	51,20	20,60	28,20	21,91	15,48	1,98	0,80	0,42	0,00	18,69	18,69	82,54
SAN REJES	8,24	0,19	3,73	228,21	2,80	4,83	0,24	41,42	36,21	22,36	24,49	21,68	1,86	0,51	0,44	0,00	24,49	24,49	100,00
PISCUYACU	5,26	0,05	2,64	110,45	3,00	5,17	0,26	56,40	28,40	15,20	10,56	3,75	0,56	0,37	0,41	0,61	5,68	5,07	46,01
PINTO RECODO	6,08	0,06	14,70	112,34	3,22	5,55	0,28	53,60	33,80	12,60	13,28	4,42	1,35	0,31	0,38	0,00	6,47	6,47	49,29
SAN ROQUE	5,14	0,15	26,49	114,70	2,61	4,50	0,22	52,40	35,20	12,40	12,80	3,77	0,33	0,30	0,16	0,43	4,98	4,56	36,61
CAYNARACHI	5,03	0,12	28,49	148,59	2,44	4,21	0,21	70,00	18,80	14,20	11,84	4,54	0,63	0,38	0,16	0,61	6,33	5,72	50,79
PÓLVORA	6,52	0,36	46,17	399,10	2,56	4,41	0,22	40,00	20,00	40,00	29,14	17,12	8,25	1,04	0,25	0,00	26,65	26,65	91,10
UCHIZA	6,99	0,40	47,00	437,14	2,24	3,86	0,19	63,60	10,40	26,00	30,18	22,94	4,47	1,17	0,27	0,00	28,85	28,85	94,78
SHUNTÉ	6,26	0,06	49,17	247,26	2,87	4,95	0,25	31,20	28,40	40,40	28,48	19,21	4,56	0,81	0,24	0,00	24,80	24,80	86,91

Para pH los valores oscilaron entre 4,60 a 8,53, mostrando los valores más elevados las localidades de Copallin, Mandingas Cajaruro y Milagro en la región Amazonas con rangos entre 7,19 a 8,53 considerados alcalinos, mientras que las localidades de Shugki y Putuyakat también en la región Amazonas presentaron los suelos con mayor acides valores de 4,60 y 4,73. Por otro lado, las localidades de Piscuyacu, Pinto Recodo y Shunté en la Region San Martín presentaron los valores más bajos de conductividad eléctrica con 0,05 mmhos/cm; 0,06 mmhos/cm y 0,06 mmhos/cm; mientras que la localidad de Copallin en la región Amazonas presentó el valor más alto con 0,45 mmhos/cm.

Respecto a los nutrientes, el fosforo (ppm) no mostró diferencia entre regiones, los valores más elevados se mostraron en la región de San Martín en la localidad de Shunté (49,17ppm), así mismo la localidad que presentó el menor contenido de fosforo, fue la localidad de Piscuyacu (2,64ppm) que también se encuentra en la región de San Martín. Por otra parte, la localidad de Uchiza que se encuentra en la región San Martín presentó el mayor contenido de potasio (437,14ppm), en cambio la localidad de Imaza (Amazonas) presentó el contenido más bajo (49,02ppm). Coppallin (Amazonas) tiene la mayor concentración de Carbono (4,21ppm), así como los mayores niveles de materia orgánica y Nitrógeno (7,26 y 0,36). Putuyakat (Amazonas) en cambio, presenta los niveles más bajos de Carbono (2,1), materia orgánica (3,62) y Nitrógeno (0,18). Pichari (VRAEM) tiene el valor más alto de arena (83,2%) y el valor más bajo de arcilla (8,4%) y limo (8,4%). Milagro (Amazonas) tuvo el mayor porcentaje de limo 36,4% y Cajaruro (Amazonas) tuvo el mayor porcentaje de arcilla 43%. La localidad con el valor más bajo de CIC fue Shugki (Amazonas) con 8,16 mientras que Milagro (Amazonas) tuvo el más alto (34,66).

Para los parámetros de Calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), la localidad de Cajaruro en la región Amazonas presentó el mayor valor (27,98) ppm, mientras que Shugki (Amazonas) presentó el valor más bajo (2,18ppm). Para Magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) el valor más alto y más bajo se encontró en la región de San Martín en la localidad de Pólvora (8,25 ppm) y San Roque (0,33ppm). Para  $\text{K}^{+}$  la localidad de La Peca (Amazonas) tuvo el valor más alto con 1,19ppm y la localidad de Imaza (Amazonas) el valor más bajo (0.156ppm). No hubo variaciones significativas en los parámetros de  $\text{Na}^{+}$ , la localidad que obtuvo el valor más alto fue la localidad de Mandingas (Amazonas) con 0,46 ppm, y el valor más bajo fue la localidad de San Roque (San Martín) con 0,16 ppm. Para  $\text{Al}^{+3}+\text{H}^{+}$ , el valor más alto se encontró en Putuyakat (Amazonas) Amazonas con 2,23ppm y el valor más bajo se presentó en 16

localidades entre las regiones de Amazonas, San Martín, Ayacucho y Cusco con 0.000 ppm.

En el presente estudio se encontró que el índice de Shannon está estrechamente relacionado con el valor de pH así lo demuestra los resultados, al obtener mayores índices en las localidades con mayor pH, Copallin, Mandingas Cajaruro y Milagro entre (7,188 a 8,528). Así lo han demostrado varios autores que han llegado a conclusiones similares, según Rozek et al. (2020), pH del suelo y el índice de uniformidad de Shannon de HMA son fundamentales para detectar cambios en la diversidad HMA. Así mismo, Vilcatoma-Medina et al. (2018), el pH del suelo tiene un impacto significativo en la diversidad de HMA. Guo et al. (2012), reporto que en suelos ácidos se produjo una disminución en el número de esporas y algunos casos ausencia. Esto se relaciona al bajo índice de diversidad de HMA en las localidades de Shugki y Putuyakat que tienen el pH más ácido (4,60 y 4,73).

El valor de conductividad eléctrica obtenido en la localidad de Copallin en la región de Amazonas presento los niveles más altos, Algunos autores mencionan que la densidad de esporas en áreas salinas es baja, los valores de conductividad eléctrica están relacionados con el contenido de sal del suelo (Blume et al., 2016). Varios estudios han descubierto correlación positiva entre la concentración de sal en el suelo y el número de esporas (Silva, 2019). Esto permite decir que en el presente trabajo se encontró una correlación negativa ya que la localidad de Copallin presento niveles inferiores al promedio de riqueza de HMA, por otro lado, Piscoyacu obtuvo un bajo nivel de conductividad eléctrica y un nivel superior al promedio de riqueza. Esto de relaciona con el estudio de Barros et al. (2017), y Ebrahim et al. (2017), indican que la micorrícica mantiene una correlación negativa con la salinidad. Sin embargo, las esporas pueden estar viables en altas concentraciones de salinidad (Ebrahim et al., 2017). Así mismo, esto muchas veces esta influenciado a que los HMA crean estructuras para sobrevivir en circunstancias ambientales difíciles (Silva, 2019). Sin embargo, Mohammad et al. (2003), demostraron que la conductividad eléctrica tiene un efecto neutro sobre la densidad de HMA.

El valor más alto de fósforo se encontró en la localidad de Shunté (49,17ppm) presentando una relación positiva con la densidad y el promedio de Riqueza de HMA en la rizosfera de plantaciones de cacao en el presente estudio. Esto se relaciona con lo que menciona Ushio et al. (2015), y Vilcatoma-Medina et al. (2018), que el desarrollo de las raíces y de los HMA se debe a la disponibilidad de Fosforo en suelo y a mayor disponibilidad de fosforo, mayor número de esporas. Po otro lado en la localidad de Piscuyacu (2,64ppm) encontramos el

valor más bajo de contenido de Fósforo con respecto de las demás localidades, sin embargo, presenta niveles de densidad y riqueza de HMA superiores al promedio, relacionándose de manera negativa con lo mencionado por Ji et al. (2016), el fosforo en el suelo es vital para la construcción de estructuras de HMA, por lo que se encuentra estable y con poca movilidad. Quedando demostrado en el presente estudio que el fosforo no influye de manera significativa, ya que puede estar influenciando por otros factores en la formación de HMA.

El contenido de potasio obtenido de la localidad de Uchiza (437,14 ppm) presento una relación con los promedios de riqueza y densidad de HMA que se encuentran inferiores al promedio, pero un rango normal, también presentando un valor superior al promedio de dominancia del índice Simpson entre las 27 localidades en investigación en las tres regiones. Eso podría estar relacionado a lo que reporta Ji et al. (2022), el potasio aprovechable junto con otros micronutrientes como el calcio y magnesio alteran en gran medida la diversidad de HMA. Por lo tanto, estos micronutrientes también se encuentran presentes en la misma localidad con los valores altos superiores al promedio (22,935ppm) de calcio y (4,470ppm) de magnesio.

En la localidad de Copallin presenta los mayores valores de C (4,21ppm), M.O (7,26%) y N (0,36ppm) respecto de las localidades restantes en las regiones de Amazonas, San Martín, Ayacucho y Cusco. El carbono (C) es un importante regulador nutricional de la diversidad de HMA (Koorem et al., 2017), esto se debe a que muchos microorganismos participan en la desintegración y renovación de la materia orgánica (Nielsen et al., 2011). Por otro lado, la materia orgánica (M.O) de suelo aumenta la productividad al mejorar la capacidad de almacenamiento de nutrientes, la capacidad de retención de agua y la tasa de mineralización de nutrientes (Smith et al., 2014).

La textura del suelo puede presentar efectos positivos y negativos en la diversidad de los HMA, y cada parámetro varío por localidad. Mangalassery et al. (2013), los suelos arenosos son ligeros y presentan partículas de mayor tamaño y espacio poroso, esto facilita el metabolismo microbiano, brindando mejores condiciones para la proliferación del micelio HMA. En este estudio se encontró una relación negativa ya que en la localidad de Pichari en la región de VRAEM, presentó una textura de suelo de 83,2% de arena el más alto con respecto a las otras localidades, pero los niveles más bajo de limo y arcilla (8,40% y 8,40%), también es la localidad con mayor riqueza de HMA inferior al promedio considerada dentro un rango normal. La localidad de Cajaruro que presentó el nivel más alto de arcilla (43%) y

es la localidad con menor de riqueza de HMA. Esto se relación con lo mencionado por Arancibia et al. (2022), que hay menos aireación en los suelos arcillosos, lo que tiene un impacto negativo en los HMA, especialmente cuando aumenta el contenido de agua.

En la Tabla 14 se muestra los resultados de las correlaciones de variables de suelo con la riqueza, índice de Simpson, índice de Shannon y Densidad.

**Tabla 14.**

*Correlación de variable de suelo con riqueza, índice de Simpson, índice de Shannon y densidad.*

	Riqueza	Simpson	Shannon	Densidad
<b>ph (1:1)</b>	-0,13	-0,12	0,07	0,14
<b>C.E. (1:1) dS/m</b>	-0,15	-0,10	0,04	-0,04
<b>P ppm</b>	-0,06	-0,05	0,01	0,13
<b>K ppm</b>	-0,12	-0,08	0,04	0,08
<b>C %</b>	-0,15	-0,05	0,00	-0,05
<b>M.O %</b>	-0,15	-0,05	0,00	-0,05
<b>N %</b>	-0,15	0,05	0,00	-0,05
<b>Arena %</b>	-0,03	-0,04	0,04	<b>-0,30*</b>
<b>Limo %</b>	<b>0,24*</b>	0,04	0,02	0,16
<b>Arcilla %</b>	<b>-0,17*</b>	0,03	0,08	<b>0,27*</b>
<b>CIC meq/100g</b>	<b>-0,21*</b>	-0,02	-0,04	<b>0,24*</b>
<b>Ca<sup>+2</sup> meq/100g</b>	<b>-0,25*</b>	-0,00	-0,07	<b>0,23*</b>
<b>Mg<sup>+2</sup> meq/100g</b>	<b>-0,21*</b>	-0,12	0,04	0,08
<b>K<sup>+</sup> meq/100g</b>	-0,14	-0,02	-0,02	0,13
<b>Na<sup>+</sup> meq/100g</b>	0,06	-0,12	0,14	-0,11
<b>Al<sup>+3</sup> + H<sup>+</sup> meq/100g</b>	0,06	0,12	-0,08	0,07
<b>Suma de cationes</b>	<b>-0,26*</b>	-0,02	-0,05	<b>0,20*</b>
<b>Suma de bases</b>	<b>-0,25*</b>	-0,03	-0,04	<b>0,20*</b>
<b>% sat. De Bases</b>	<b>-0,19*</b>	-0,15	0,07	0,06

En estos resultados las variables pH, C.E, P, K, C, M.O, N, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>+3</sup>+H<sup>+</sup>, no se correlaciona con la riqueza, Índice de Simpson, índice de Shannon y densidad. Por otro lado, la variable arena se correlaciona de forma significativa, negativamente con densidad, sin embargo, no existe correlacionan con la riqueza y los índices de Simpson y Shannon.



La variable limo tiene una correlación significativa, positiva con la riqueza, pero no con la densidad y los índices de Simpson y Shannon. La variable arcilla se correlaciona con la densidad de forma significativa y positiva, pero no la riqueza y los índices de Simpson y Shannon. Las variables CIC y  $\text{Ca}^{+2}$  se correlacionan de forma significativa, positiva con la densidad y negativa con la Riqueza, pero no los índices de Simpson y Shannon. La variable  $\text{Mg}^{+2}$  se correlaciona de forma significativa, negativa con la riqueza, pero no con la densidad y los índices de Simpson y Shannon. Las variables sumas de cationes y suma de bases están correlacionadas de forma significativa, positiva con la densidad y negativa con riqueza, pero no con los índices de Simpson y Shannon. La variable % de saturación de bases se correlaciona de forma significativa, negativa con la riqueza, pero no con la densidad y los índices de Simpson y Shannon.

Las variables pH, C.E, P, K, C, M.O, N,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{+3}+\text{H}^+$  no estuvieron correlacionadas significativamente con la riqueza, densidad y los Índices de Simpson y Shannon, por lo tanto, estos resultados se relacionan de manera negativa con los estudios de Rozek et al. (2020), que han publicado investigaciones que indican una clara relación entre la diversidad y riqueza de HMA con el pH del suelo. Vilcatoma-Medina et al. (2018), mencionaron que el pH del suelo es un componente importante al alterar la diversidad y la formación de HMA. La conductividad eléctrica según lo mencionado por Silva (2019), puede ser desfavorable para el desarrollo de HMA, sin embargo, ellos forman estructuras para sobrevivir. Bainard et al. (2014), menciona que HMA varían en su tolerancia al pH; algunos se pueden encontrar principalmente en suelos de pH bajo, mientras que otros prefieren sustratos alcalinos y neutros. El potasio, es un estimulante micorrízico que suele ser necesario para la micorrización, pero está asociada a la disponibilidad de cationes intercambiables ( $\text{Ca}^{+2}$ ) que estimulan la riqueza y la colonización de HMA (Zhang et al., 2017). Sin embargo, los diferentes factores según el presente estudio no han influenciado en la riqueza y diversidad de HMA relacionando negativamente los resultados de diversos autores.

Las variables intercambio catiónico del suelo y  $\text{Ca}^{+2}$  se relacionó de forma significativa, positiva con la densidad y negativa con la riqueza. Estos resultados se relacionan con lo obtenido por Álvarez-López et al. (2019), descubrieron que densidad de esporas y la riqueza de especies HMA están negativamente relacionadas con la capacidad de intercambio catiónico. Sin embargo, Khalil et al. (2011), encontraron que  $\text{Ca}^{+2}$ , estimula de forma significativa la riqueza de HMA y colonización en raíces de plantas huéspedes. Por

lo tanto, Cotrina (2019), encontró que el calcio está involucrado con la simbiosis en las raíces al permitir la permeabilidad de las células.

La variable  $Mg^{+2}$  obtuvo una correlación significativamente negativa con la riqueza, esto está muy relacionando con el número de especies de HMA, estos resultados son contrarios a los otros autores, Ji et al. (2022), que descubrieron correlación positiva estadísticamente significativa entre el contenido de  $Mg^{+2}$  y la riqueza de HMA. Sin embargo, podemos decir que la Riqueza esta influenciada por otros factores tal como lo menciona Barrios (2017), que la riqueza está relacionada con las características de suelo pH, humedad, textura, propiedades fisicoquímicas, iónicas y bióticas.

Los resultados de las variables Suma de Bases, Suma de Cationes y %Sat. de Bases, se correlacionan significativamente y de forma negativa con la riqueza de HMA, estos resultados se relacionan de forma negativa con lo que menciona Diop et al. (2021), que encontró que las variables se correlacionaron de forma positiva y que esto se dada por los cationes intercambiables.

#### 4.4 Porcentaje de colonización

En la tabla 15 se muestra lo valores de colonización por localidades de las 3 regiones evaluadas en este estudio.

**Tabla 15.**

*Porcentaje de colonización de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

REGION	LOCALIDAD	COLONIZACION %
AMAZONAS	IMAZA	76,67
	LA PECA	54,67
	COPALLIN	61,67
	CAJARURO	75,00
	MANDINGAS	63,33
	MILAGRO	68,33
	NUEVA UNIDA	85,00
	SHUGKI	55,67
	PUTUYAKAT	55,67
VRAEM	VILLA VIRGEN	73,33

	LOBO	73,00
	KIMBIRI	68,67
	PICHARI	82,33
	CANAYRE	64,33
	SIVIA	69,99
	SANTA ROSA	86,33
	ANCO	62,00
	CHUNGUI	72,67
<b>SAN MARTÍN</b>	SAPOSOA	73,33
	SAN REJES	80,33
	PISCUYACU	71,00
	PINTO RECODO	83,67
	SAN ROQUE	79,33
	CAYNARACHI	75,67
	PÓLVORA	80,66
	UCHIZA	88,33
	SHUNTÉ	80,00

El Porcentaje de colonización por localidades, tabla 15 se puede observar que la localidad de Uchiza (88,33) seguida de Santa Rosa (86,33) y Nueva Unida (85) son las que mayor porcentaje de colonización obtuvieron a comparación de las localidades de La Peca (54,66), Shugki (55,67) y Putuyakat (55,67) que obtuvieron los porcentajes más bajos. En tanto la región de región de San Martín (71 – 88,33) tiene los rangos más altos en porcentaje de colonización a comparación de VRAEM (62 – 86,33) y Amazonas (54,66 – 85) pero no obstante ninguna de las regiones tiene un porcentaje de colonización inferior al 50%.

La colonización micorrícica en las 27 localidades en las regiones de Amazonas, San Martín, Ayacucho y Cusco, puede estar influenciada pH, Potasio, o Fosforo, estos elementos pueden elegir especies con comportamientos simbióticos variados, influyendo en el grado de colonización de las raíces (Prates et al., 2019). Sin embargo, la localidad de Uchiza con 88,33% tiene el porcentaje más alto de colonización, esto está relacionado con el contenido de fosforo, ya que está dentro de los rangos más altos de contenido de fósforo, por consiguiente, se relaciona con lo mencionado por Siquiera et al. (1998), y Prates et al. (2019), el fósforo influye en la colonización, ya que interviene en su ecología nutricional. Otros de los factores que influye es las prácticas agrícolas implementadas ya que se

considera que esta localidad realiza un proceso de fertilización con un compuesto de NPK (Nitrofoska) aportando fósforo al suelo, por lo que es un factor estimulante que con frecuencia se requiere para la micorrización, aparte de que estimula colonización de las raíces en plantas huéspedes (Zhang et al., 2017).

Por otro lado, la localidad de Putayakat (55,66%) con bajo porcentaje de colonización, probablemente ha sido afectado por el pH bajo, ya que tiene un impacto directo en el metabolismo de muchas especies de HMA, la variación de cierto rango de pH afecta de forma directa en su fisiología (Bucking et al., 2015). Otro factor principal es la presencia de metales pesados ya que se considera que en suelo con pH bajo existen la presencia de aquellos, estos inhiben la colonización micorrízica en cacao (Vallejos-Torres et al., 2022). El porcentaje de colonización en las 27 localidades se reportó que está comprendida entre los rangos 55,67% y 88,33, fueron superiores a los reportados por Arteaga (2019), quien reportó rangos de 12,09 – 31,14 en 12 localidades en la región de San Martín en cultivos de café, teniendo promedios inferiores al 50%. Sin embargo, Vallejos-Torres et al. (2022), reportó porcentajes de colonización más altos respecto al presente estudio de 89,33% en la localidad de Rioja. Demostrando de esta manera que se presenta un mayor porcentaje de colonización de HMA asociados a planta de cacao.

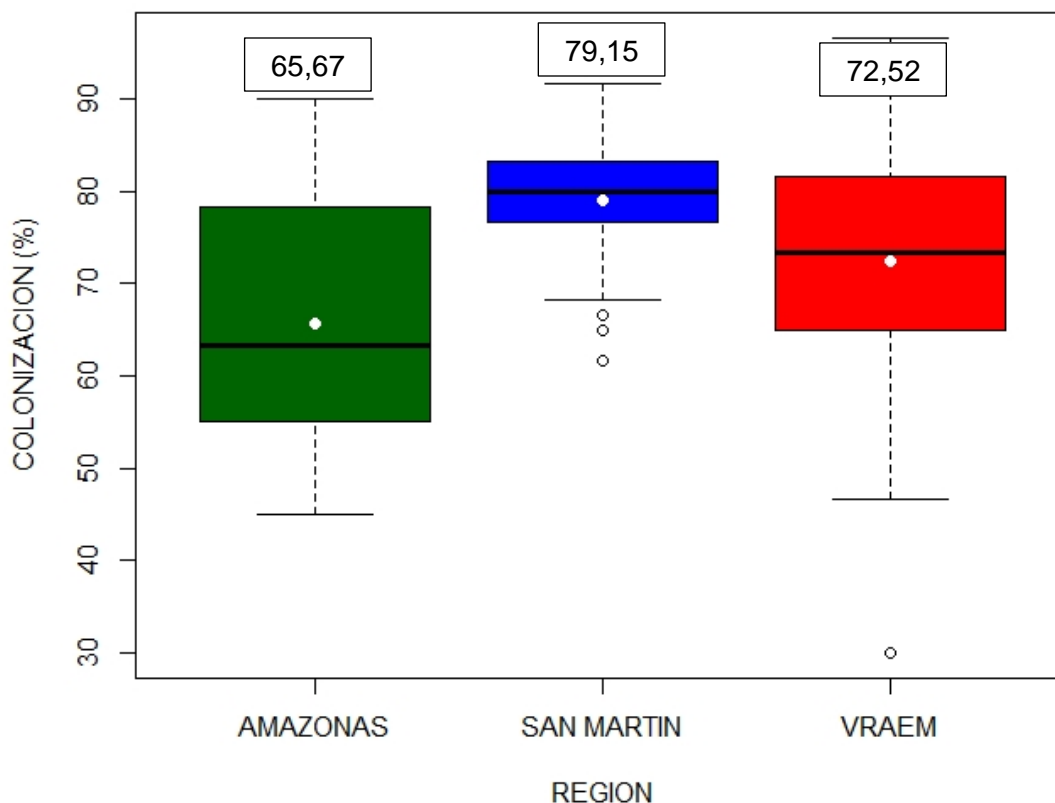
El análisis estadístico muestra que no hay diferencia significativa en el porcentaje de colonización de HMA en las regiones (Tabla 16).

**Tabla 16.**

*ANOVA del porcentaje de colonización de HMA asociados a plantaciones de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.*

	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamiento</b>	2	4089,5	2044,8	15,999	6,00E-07
<b>Residuo</b>	132	16870,2	127,8		
<b>Total</b>	134	20959,7			

La Figura 18 indica que no hay diferencias significativas de colonización de HMA en las tres regiones, sin embargo, el porcentaje de colonización en relación al promedio de la región San Martín (79,15) es mayor que las otras dos regiones VRAEM (72,52) y Amazonas (65,67).



**Figura 18.** Porcentaje de colonización de HMA asociados al cultivo de cacao en diferentes ecosistemas en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú.

La colonización de HMA no estuvo afectada en las tres regiones de estudio. Se encontraron porcentajes estadísticamente idénticos, lo que podría deberse a que la colonización en plantaciones de cacao se relaciona con componentes del suelo, por ejemplo, la sal y el fósforo (P), tal como menciona Tena (2002), que cuanto menores son las concentraciones de sal y P en el suelo, mayor es la penetración de los hongos en la planta y puede influir en la colonización de micorrizas. Nuestros resultados, mostraron cantidades de (P) similares en las tres regiones.

Otro de los factores es que el porcentaje de colonización de HMA en las tres regiones puede verse afectado por el período de prueba, por que la red micelial externa de AMF puede cambiar con las estaciones o ambientes donde viven los huéspedes (Staddon et al., 2003; Zangaro et al., 2013). Sin embargo, en el presente estudio realizado en las tres regiones productivas del Perú no se evidencia que exista diferencia en el porcentaje de colonización influenciado por las temporadas o ambiente ya que las tres regiones

estudiadas son diferentes en, altitud, ambiente, clima, presentando diferentes temporadas cada región. Este estudio contribuye a demostrar que no existe diferencia en la colonización micorrícica a pesar de las diferencias edafoclimáticas de cada región, relacionándose con lo mencionado por Prieto – Benavides (2012), que los factores de temporadas y ambiente poco influyen en la colonización micorrícica, Según los resultados, no hubo diferencias significativas, ya que la frecuencia de micorrización fue superior al 50% en la estación húmeda y al 45% en la estación seca. Esto atribuye que los factores influyentes en la colonización micorrícica son los ya mencionados por Tena (2002).

## CONCLUSIONES

- Las regiones de Amazonas, San Martín, Cusco y Ayacucho no presentaron diferencias significativas en la diversidad de HMA, sin embargo, al evaluar los diferentes ecosistemas productivos de cacao, la localidad de mandingas en Amazonas presentó la mayor riqueza de especies.
- La distribución geográfica de especies de HMA en las tres regiones no fue afectada por la distancia geográfica, pero se evidenció que las características físico – químicas, influyeron significativamente en la distribución de especies de HMA.
- Las regiones de Amazonas, San Martín, Cusco y Ayacucho no presentaron diferencia significativa en el porcentaje de colonización de HMA, Sin embargo, al evaluar los diferentes ecosistemas de cacao se encontraron porcentajes superiores al 50% evidenciando una gran capacidad de asociación con las raíces de cacao, la localidad de Uchiza en San Martín presentó el mayor porcentaje de colonización.

## RECOMENDACIONES

- Identificar molecularmente las especies de Hongos Micorrícicos Arbusculares que no pudieron ser identificadas morfológicamente, ya que esta información será un aporte significativo para la ciencia en el Perú y el mundo.
- Realizar más estudios de Diversidad de especies de HMA en otras regiones del Perú debido a que existe poca información de HMA en cacao.
- Realizar multiplicación de HMA, de las especies identificadas de campo para emplearlas en futuros trabajos de investigación, de la misma manera poder generar un banco de germoplasma de HMA.
- Realizar biofertilizantes o inóculos de HMA para utilizar como fertilizantes en los diferentes cultivos, debido a que ayudan al desarrollo y absorción de nutrientes en la planta.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R. (2021). *Estudio de la diversidad de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) en el cultivo de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.), en la región san Martín*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero agrónomo). Universidad Nacional de San Martín, Facultad de ciencias Agrarias; San Martín, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/4124>
- Álvarez-Lopezello, J., del Castillo, R.F., Robles, C., Hernández-Cuevas, L.V. (2019). Spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in human-modified neotropical ecosystems. *Ecol. Res.*, 34: 394– 405. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12004>.
- Arancibia, R., Flores, M.E., Cabrera, T., Sanchez Beiza, J., Obando, J. (2022). Evaluación de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) en la rehabilitación ecológica de ecosistemas con actividad minera. *Ecosistemas* 31(2): 2304. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2304>
- Arévalo, C.O. (2016). *Prospección de la Densidad de esporas y colonización de micorrizas en Cacao silvestre de Ucayali y Madre de Dios*. (Tesis para optar el título de ingeniero Agrónomo). Universidad Agraria la Molina,10-67. Lima – Perú <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1968>
- Arias, R.M., Heredia-Abarca, G., Sosa, V.J., Fuentes-Ramírez, L.E. (2012). Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico. *Agrofor Syst.*, 85: 179–193. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9414-3>
- Arteaga, E. (2019). *Identificación de la diversidad y colonización de Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA) nativos, en el cultivo de café (Coffea arabica L.), en cuatro provincias El Dorado, Lamas, San Martín y Moyobamba*. (Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo) Universidad Nacional de San Martín, Facultad de ciencias Agrarias; San Martín, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/3529>
- Bago, B., Azcón-Aguilar, C., Goulet, A., Piché, Y. (1998). Branched absorbing structures (BAS): a feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular Mycorrhizal fungi. *New Phytol* 139:375-388. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00199.x>

- Bainard, L., Dai, M., Gómez, E., Torres-Arias, Y., Bainard, J., Sheng, M., Eilers, W., Hamel, C. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungal communities are influenced by agricultural land use and not soil type among the Chernozem great groups of the Canadian Prairies. *Plant Soil*, 387: 351–362. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2288-1>
- Barrer, S.E. (2009). El uso de hongos micorrícicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1): 123-132. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612009000100014&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612009000100014&lng=en&tlng=es).
- Barrios, L. (2017). *Selección de morfotipos de hongos micorrícicos arbusculares nativos predominantes de suelos degradados asociados a plantas de cobertura de la sub cuenca del Cumbaza*. (Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú). <http://hdl.handle.net/11458/2585>
- Barros, D., Endres, L., Vieira, J., Texeira, J., da Silva, A., Pereira, E. (2017). Association and mycorrhizal dependency in *Jatropha curcas* L. seedlings under salt stress. *Revista Ceres*, 64(6), 592-599. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764060005>
- Blume, H., Brümmer, G.W., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B. (2016). *Scheffer/Schachtschabel Soil Science*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 630 p.
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., Malajczuk, N. (1996). *Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture*. Canberra, Australia: Australian Centre for International Agricultural Research. 10.13140/2.1.4880.5444.
- Bucking, H., Kafle, A. (2015). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in the nitrogen uptake of plants: current knowledge and research gaps. *Agronomy*, 5: 587–612. <https://doi.org/10.3390/agronomy5040587>
- Cairney, J.W.G., Ashford, A.E. (2002). Biology of mycorrhizal associations of epacrids (Ericaceae). *New Phytologist*, 154: 305-326. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00398.x>
- Camarena, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrícicos arbusculares. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 18(3): 409-421. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>

- Camenzind, T., Hempel, S., Homeier, J., Horn, S., Velescu, A., Wilcke, W. (2014). Nitrogen and phosphorus additions impact arbuscular mycorrhizal abundance and molecular diversity in a tropical montane forest. *Global Change Biology*. 20: 3646–3659. <https://doi.org/10.1111/gcb.12618>
- Carrara, J.E., Walter, C.A., Hawkins, J.S., Peterjohn, W.T., Averill, C., Brzostek, E.R. (2018). Interactions among plants, bacteria, and fungi reduce extracellular enzyme activities under long-term N fertilization. *Global Change Biology*. 24: 2721–2734. <https://doi.org/10.1111/gcb.14081>
- Corazón-Guivin, M.A., Vallejos-Tapullima, A., Rengifo-Del Águila, S., Rondinel-Mendoza, N.V., Hernández-Cuevas, L.V., Carvajal-Vallejos, F.M., Carballar-Hernández, S. (2022). Influence of Substrate Properties on Communities of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Isolated from Agroecosystems in Peru. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00960-3>
- Cotrina, Y.A. (2019) *Hongos micorrízicos arbusculares aislados de suelo radicular de Portulaca oleracea L. como potenciales promotores del crecimiento de plantas en suelos salinos*. (Tesis de pregrado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo). Lambayeque – Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/9073>
- Diop, I., Ndoye, F., Diédhiou, A., Krasova-Wade, T., do Rego, F., Noba, K., Ambrosi, J., Kane, A. (2021). Diversity and spore density of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of Cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) cultivated in different soils in Senegal. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 48(1): 8552-8565. <https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v48-1.1>
- Ebrahim, M., Saleem, A. (2017). Alleviating salt stress in tomato inoculated with mycorrhizae: Photosynthetic performance and enzymatic antioxidants. *Journal of Taibah University for Science*, 11(6), 850-860. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2017.02.002>
- Esquivel-Quispe, R. (2020) Propagación de hongos micorrizógenos arbusculares nativos y su influencia en la producción de maíz Amiláceo en Paquecc-Ayacucho. Primera parte: Propagación en cultivos asociados en invernadero. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 8: 42–52. <https://doi.org/10.36610/j.isab.2020.080100042>

- Fernández, R. (2008). Las micorrizas: Desenterrando un Tesoro. *Revista Agricultura Organica*. 22-25.
- Gerdemann, J.W., Nicolson, T.H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British mycological Society*, 46: 235 – 244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- Gestión (2019). Exportación de cacao peruano alcanza los US\$ 266 millones principalmente al mercado europeo editorial – Peru – consultado – 17/04/2021
- Guo, H., He X., Li Y. (2012). Spatial distribution of arbuscular mycorrhiza and glomalin in the rhizosphere of *Caragana korshinskii* Kom. in the Otindag sandy land, China. *Africa J. Microbiol. Res.*, 6, 5745-5753. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.1560>
- Hernández, A.D., Monroy, M. (2017). *Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares asociados a tres clones de cacao (Theobroma cacao L.) en el Yopal Casanare*. (Tesis de Pregrado. Universidad de Cundimarca-Colombia). <http://hdl.handle.net/20.500.12558/2474>
- Jamiolkowska, A., Ksiezniak, A., Galazka, A., Hetman, B., Kopacki, M., Skwarylo-Bednarz, B. (2018). Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: a Review. *Int. Agrophys*, 32: 133–140. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0090>
- Ji, B., Bever, J.D. (2016). Plant preferential allocation and fungal reward decline with soil phosphorus enrichment: Implications for evolution of the arbuscular mycorrhizal mutualism. *Ecosphere*, 7: e01256. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1256>
- Ji, L., Yang, X., Zhu, C., Ma, L., Chen, Y., Ruan, J. (2022). Land-use changes alter the arbuscular mycorrhizal fungal community composition and assembly in the ancient tea forest reserve. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 339: 108142. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108142>
- Khalil, H., Eissa, A., El-Shazly, S., Nasr, A. (2011). Improved growth of salinity stressed citrus after inoculation with mycorrhizal fungi. *Scientia Horticulturae*, 130(3), 624-632. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.08.019>
- Koorem, K., Tulva, I., Davison, J., Jairus, T., Öpik, M., Vasar, M., Zobel, M., Moora, M. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungal communities in forest plant roots are

- simultaneously shaped by host characteristics and canopy-mediated light availability. *Plant and Soil*, 410(1/2), 259–271. <http://www.jstor.org/stable/44245087>
- León, J. (1987). *Fundamentos Botánicos de los cultivos tropicales*. San José, Costa Rica: instituto interamericano de cooperación para la agricultura. 2da. Edición.
- Luis-Alaya, B., Toro, M., Calsina, R., Ogata-Gutiérrez, K., Gil-Polo, A., Ormeño-Orrillo, E., Zúñiga-Dávila, D. (2023). "Evaluation of the Presence of Arbuscular Mycorrhizae and Cadmium Content in the Plants and Soils of Cocoa Plantations in San Martín, Peru" *Diversity* 15(2):246. <https://doi.org/10.3390/d15020246>
- Llanos, K.J. (2020). *Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de cacao nativo (Theobroma cacao L.) en las provincias de Bagua y Utcubamba, región Amazonas*. (Tesis para obtener el título profesional de ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias; Chachapoyas, Perú). <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2217>
- Ma, X.C., Geng, Q.H., Zhang, H.G., Bian, C.Y., Chen, H., Jiang, D. (2020). Global negative effects of nutrient enrichment on arbuscular mycorrhizal fungi, plant diversity and ecosystem multifunctionality. *New Phytol.*, 229: 2957–2969. <https://doi.org/10.1111/nph.17077>
- Mangalassery, S., Sjögersten, S., Sparkes, D.L., Sturrock, C.J., Mooney, S.J. (2013). The effect of soil aggregate size on pore structure and its consequence on emission of greenhouse gases. *Soil and Tillage Research*. 132: 39–46. [https://www.researchgate.net/publication/255728450\\_The\\_effect\\_of\\_soil\\_aggregate\\_size\\_on\\_pore\\_structure\\_and\\_its\\_consequence\\_on\\_emission\\_of\\_greenhouse\\_gases](https://www.researchgate.net/publication/255728450_The_effect_of_soil_aggregate_size_on_pore_structure_and_its_consequence_on_emission_of_greenhouse_gases)
- Medina, L.R. (2016). La agricultura, la salinidad y los hongos micorrízicos arbusculares: una necesidad, un problema y una alternativa. *Cultivos Tropicales*, 37(3): 42-49. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1117.9765>
- Minagri. (2019). *Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector*. Minagri – consultado 22/05/2021.

- Molina, R., Trappe, J.M. (1982). Lack of mycorrhizal specificity by the ericaceous hosts *arbutus menziesii* and *arctostaphylos uv a-ursi*. *New Phytologist*, 90: 495-509. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1982.tb04482.x>
- Nazareno, M.C., Ruscitti, M.F., Arango, M.C. (2019). *Micorrizas arbusculares: biología y aplicaciones en el sector agro-forestal*. Ciudad de la plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- Nielsen, U.N., Ayres, E., Wall, D.H., Bardgett, R.D. (2011). Soil biodiversity and carbon cycling: a review and synthesis of studies examining diversity-function relationships. *European Journal of Soil Science*. 62: 105–116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01314.x>
- Omar, MB., Bolland, L., Heather, W.A. (1978). A permanent mounting medium for fungi. *Stain technology*, 53(5): 293–294.
- Pacheco, A., Naranjo-Morán, J., Reyes, G., Oviedo-Anchundia, J., Ratti, M., Barcos-Arias, M. (2022). Descubriendo la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados con dos prácticas de cultivo de *Theobroma cacao*. *Diversity* 14, no. 8: 651. <https://doi.org/10.3390/d14080651>
- Pelczar, J.M., Chan, E.C.S. (1984). *Elementos de microbiología*. McGraw-Hill, Mexico. ISBN 968- 451-540-5.
- Pérez, U.A., Ramírez, M., Serralde, D.P., Peñaranda, A.M., Wilches, W.A., Ramírez, L., Rengifo, G.A. (2019). Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) como estrategia para reducir la absorción de cadmio en plantas de cacao (*Theobroma cacao*). *Terra Latinoamericana*, 37(2): 121-130. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.479>
- Prates, J., Moreira, B.C., da Silva, M., Veloso, T., Stürmer, S.L., Fernandes, R., Mendonça, E.S., Kasuya, M. (2019). Agroecological coffee management increases arbuscular mycorrhizal fungi diversity. *PLoS One* 14(1): e0209093. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209093>.
- Prieto-Benavides, O.O., Belezaca-Pinargote, C.E., Mora-Silva, W.F., Garcés-Fiallos, F.R., Sabando-Ávila, F.A., Cedeño-Loja, P.E. (2012). Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en Sistemas Agroforestales con cacao en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2), 233-239.

[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1659-13212012000200002&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212012000200002&lng=en&tlng=es).

- Redecker, D., Schüssler, A., Stockinger, H., Stürmer, S.L., Morton, J.B., Walker, C. (2013). An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*, 23(7): 515–531. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0486-y>
- Rodríguez, Y., Fernández, K., Van T, D. (2009). Reclasificación taxonómica de dos cepas de hongos micorrízicos arbusculares. *Cultivos Tropicales*, 30(1): 31-35. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000100011&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100011&lng=es&tlng=es).
- Rojas, J. (2010). *Hongos micorrízicos arbusculares en la rizósfera de genotipos promisorios de cacao (Theobroma cacao L.) bajo los sistemas tradicional y bajo bosque en la región San Martín-Perú*. (Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Martín), 18-102. <http://hdl.handle.net/11458/1170>
- Rojas, K., Elizarbe, C., Gárate, M., Ayala, D., Ruiz, P., Sieverding, E. (2014). Hongos de Micorriza Arbuscular en tres agroecosistemas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía Peruana. *Revista del Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana*, 23 (2) 149 – 156. <https://doi.org/10.24841/fa.v23i2.20>
- Romero, A.C. (2016). *Estudio del Cacao en el Perú y el Mundo situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego.
- Rozek, K., Rola, K., Blaszkowski, J., Leski, T., Zubek, S. (2020). How do monocultures of fourteen forest tree species affect arbuscular mycorrhizal fungi abundance and species richness and composition in soil? *Forest Ecology and Management*. 465: 118091. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118091>
- Sieverding, E. (1983). *Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://hdl.handle.net/10568/54137>
- Silva-Flores, P., Bueno, C.G., Neira, J. (2019). Factors Affecting Arbuscular Mycorrhizal Fungi Spore Density in the Chilean Mediterranean-Type Ecosystem. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19: 42–50. <https://doi.org/10.1007/s42729-018-0004-6>



- Siquiera, J.O., Saggin-Júnior, O.J., Flores-Aylas, W.W., Guimarães, P. (1998). Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *Mycorrhiza*, 7: 293–300. <https://doi.org/10.1007/s005720050195>
- Smith, A., Marín-Spiottab, E., Graaffc, M., Balserd, T. (2014). Microbial community structure varies across soil organic matter aggregate pools during tropical land cover change. *Soil Biology and Biochemistry*, 77: 292-303. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.030>
- Smith, S.E., Anderson, I.C., Smith, F.A. (2015). Mycorrhizal Associations and Phosphorus Acquisition: from Cells to Ecosystems. *Annual Plant Reviews: Phosphorus Metabolism in Plants*. 409–439. <https://doi.org/10.1002/9781118958841.ch14>
- Smith, S.E., Pearson G.V. (1988). Physiological interaction between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 39:221-244. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.39.060188.001253>
- Staddon, P.L., Thompson, K., Jakobsen, I., Grime, J.P., Askew, A.P., Fitter, A.H. (2003). Mycorrhizal fungal abundance is affected by long-term climatic manipulations in the field. *Global Change Biology*. 9: 186–194. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00593.x>
- Tena, A. (2002). *Presencia de hongos micorrízicos arbusculares en plantas silvestres de suelos salinos en el estado de Colima*. (Tesis M. Sc. Universidad de Colima. Colima, Colombia). 124 p [https://sistemas.ucol.mx/tesis\\_posgrado/resumen1431.htm](https://sistemas.ucol.mx/tesis_posgrado/resumen1431.htm)
- Tisdall, J.M. (1994). Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant and Soil* 159: 115–121. <https://doi.org/10.1007/BF00000100>
- Titus, J.H., Tsuyuzaki, S. (2002) Arbuscular mycorrhizal distribution in relation to microsites on recent volcanic substrates of Mt. Koma, Hokkaido, Japan. *Mycorrhiza* 12:271-275. <https://doi.org/10.1007/s00572-002-0182-9>
- Ulfah, M., Fajri, S.N., Nasir, M., Hamsah, K., Purnawan, S. (2019). Diversity, evenness and dominance index reef fish in Krueng Raya Water, Aceh Besar. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 348(1), 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/348/1/012074>




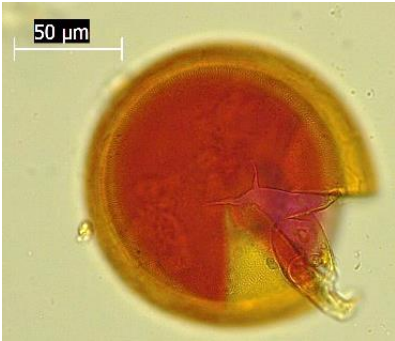
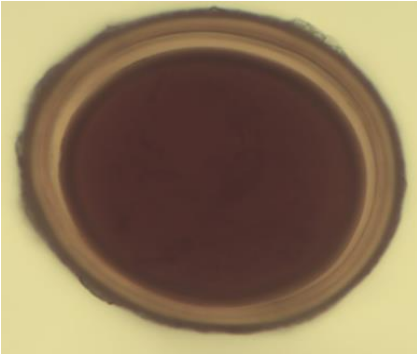
- Ushio, M., Fujiki, Y., Hidaka, A., Kitayama, K. (2015). Linkage of root physiology and morphology as an adaptation to soil phosphorus impoverishment in tropical montane forests. *Functional Ecology*. 29:1235-1245. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12424>
- Vallejos-Torres, G., Ruíz-Valles, R., Chappa-Santa María, C.E., Gaona-Jiménez, N., Marín, C. (2022). High genetic diversity in arbuscular mycorrhizal fungi influence cadmium uptake and growth of cocoa plants. *Bioagro*. 34(1), 75-84. <https://doi.org/10.51372/bioagro341.7>
- Vallejos-Torres, G., Tenorio-Cercado, M., Gaona-Jimenez, N., Corazon-Guivin, M.A., Ormeño-Luna, J., Paredes, C., Saavedra, J., Tuesta, J., Tuesta, O., Alguacil, M.M., Becerra, A., Marín, C. (2022). Multiplication of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from cocoa cultivated soils. *Bioagro*, 34(3), 265-276. <https://doi.org/10.51372/bioagro343.6>
- Varma, A. (2008) *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, EcoFunction, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*. Noida, India. Springer.
- Vega-Herrera S.S., Stürmer S.L., Damiani C.R. (2022) Glomeromycota in Peru: an overview. – *Sydowia* 75: 87–98. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia71-2019-0141>
- Vierheilig, H., Coughlan, A.P., Wyss, U., Piche, Y. (1998). Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. *Applied and environmental microbiology*, 64(12), 5004–5007. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.12.5004-5007.1998>
- Vilcatoma-Medina, C., Kaschuk, G., Zanette, F. (2018). Colonization and spore richness of arbuscular mycorrhizal fungi in Araucaria nursery seedlings in Curitiba, Brazil. *International Journal of Agronomy* 2018: 5294295. <https://doi.org/10.1155/2018/5294295>
- Villasagua, E.N. (2017). *Identificación de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en diferentes fincas productoras de cacao en la zona de Vinces-Ecuador*. (Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias para el desarrollo; Guayaquil, Ecuador). <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20871>

- Wijayawardene, N.N., Hyde, K.D., Al-Ani, L.K.T., Tedersoo, L., Haelewaters, D., Rajeshkumar, K. C., ... Phillips, A.J.L. (2020). Outline of Fungi and fungus-like taxa. *Mycosphere*, 11(1), 1060–1456. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/11/1/8>
- Yu, T.E., Egger, K., Peterson, L. (2001). Ectendomycorrhizal associations – characteristics and functions. *Mycorrhiza*, 11: 167-177. <https://doi.org/10.1007/s005720100110>
- Zangaro, W., Rostirola, L.V., de Souza, P.B., de Almeida, R., Lescano, M., Rondina, A. (2013). Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. *Mycorrhiza*, 23: 221–233. <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0464-9>
- Zhang, H., Wei, S., Hu, W., Xiao, L., Tang, M. (2017). Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Rhizophagus irregularis* Increased Potassium Content and Expression of Genes Encoding Potassium Channels in *Lycium barbarum*. *Frontiers in Plant Science*, 8: 440. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00440>

## ANEXOS

Tabla 17.

Descripción morfológica de HMA identificados taxonómicamente en 17 localidades en las tres regiones del Perú.

ESPECIE	CARACTERIZACION MORFOLOGICA
<p><i>Acaulospora rugosa</i></p> 	<p>Color: Amarillo claro o subhyalina.</p> <p>Forma: globosa, sub globoso,</p> <p>Diámetro: 49 - 118 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).</p> <p>Ornamentación: no</p> <p>Cicatriz: si</p> <p>Reacción en melzer: si</p>
<p><i>Acaulospora aspera</i></p> 	<p>Color: Amarillo cafe.</p> <p>Forma: globosa, sub globoso.</p> <p>Diámetro: 120 - 195 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).</p> <p>Ornamentación: Si</p> <p>Cicatriz: si</p> <p>Reacción en melzer: si</p>
<p><i>Acaulospora dilatata</i></p> 	<p>Color: Amarillo oscuro</p> <p>Forma: globosa, sub globoso.</p> <p>Diámetro: 78 - 130 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).</p> <p>Ornamentación: no</p> <p>Cicatriz: si</p> <p>Reacción en melzer: si</p>

---

*Acaulospora excavata*

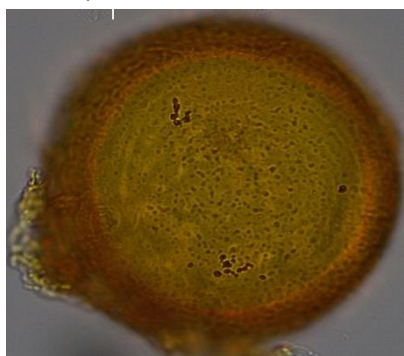
Color: Palo ocre o anaranjado.  
 Forma: globosa, sub globoso.  
 Diámetro: 115 - 180  $\mu\text{m}$   
 Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).  
 Ornamentación: Si  
 Cicatriz: si  
 Reacción en melzer: No

---

*Acaulospora foveata*

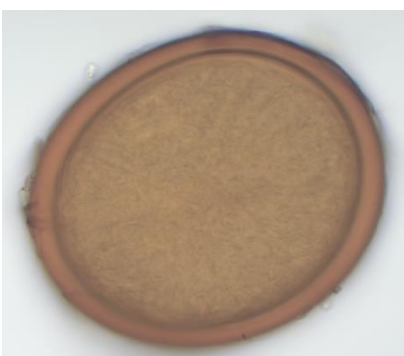
Color: Rojiso oscuro a café.  
 Forma: globosa, sub globoso.  
 Diámetro: 240 - 360  $\mu\text{m}$   
 Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).  
 Ornamentación: Si  
 Cicatriz: si  
 Reacción en melzer: si

---

*Acaulospora lacunosa*

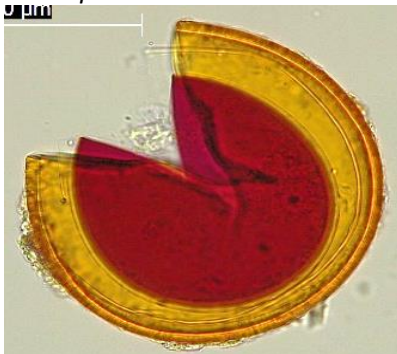
Color: Blanco hacia amarillo palo.  
 Forma: globosa, sub globoso  
 Diámetro: 98 - 182  $\mu\text{m}$   
 Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).  
 Ornamentación: Si  
 Cicatriz: si  
 Reacción en melzer: si

---

*Acaulospora leavis*

Color: Salmon a café anaranjado.  
 Forma: globosa, sub globoso.  
 Diámetro: 140 - 240  $\mu\text{m}$   
 Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).  
 Ornamentación: Si  
 Cicatriz: si  
 Reacción en melzer: si

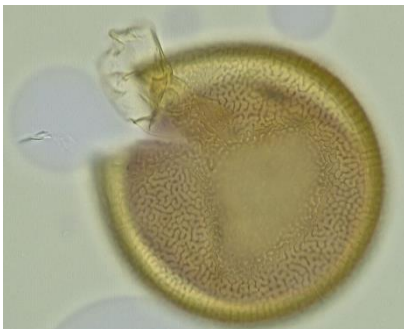
---

*Acaulospora mellea*

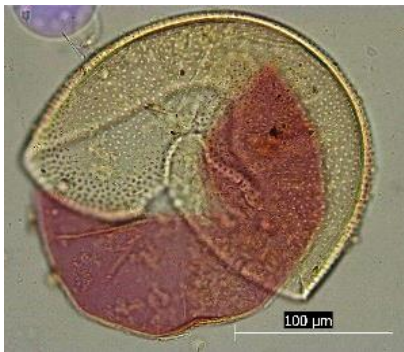
Color: marrón anaranjado  
 Forma: globosa, sub globoso,  
 ocasionalmente irregular.  
 Diámetro: 90 - 140  $\mu\text{m}$   
 Número de paredes: Tres (L1, L2,  
 L3).  
 Ornamentación: no  
 Cicatriz: si  
 Reacción en melzer: si

*Acaulospora morrowiae*

Color: marrón pálido  
 Forma: globosa, sub globosa  
 Diámetro: 60 - 100  $\mu\text{m}$   
 Número de paredes: 03  
 Ornamentación: no  
 Cicatriz: si Reacción en  
 melzer: si

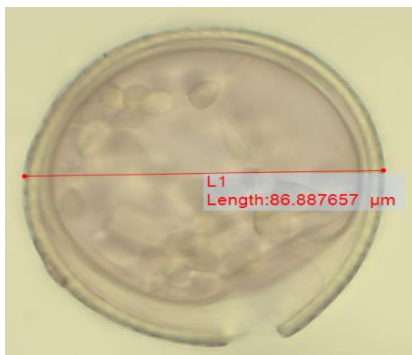
*Acaulospora rehmi*

Color: amarillo marrón a naranja  
 marrón  
 Forma: globosa, sub globosa.  
 Diámetro: 100-160  $\mu\text{m}$   
 Número de paredes: Tres  
 Ornamentación: Si  
 Cicatriz: si  
 Reacción en melzer: Si

*Acaulospora scrobiculata*

Color: hialinos a amarillo pálido  
 Forma: globosa, sub globosa  
 Diámetro: 80-160  $\mu\text{m}$ .  
 Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).  
 Ornamentación: Si  
 Cicatriz: Si  
 Reacción en melzer: Si



*Acaulospora sieverdingii*

Color: Hyalina - amarillo claro.

Forma: globosa, sub globoso.

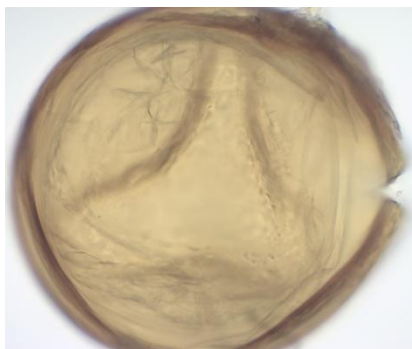
Diámetro: 60 - 90 μm

Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Ornamentación: Si

Cicatriz: si

Reacción en melzer: si

*Acaulospora sp*

Color: amarillo pálido.

Forma: globosa, sub globoso

Diámetro: 85 - 120 μm

Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Ornamentación: No

Cicatriz: si

Reacción en melzer: No

*Acaulospora spinosa*

Color: crema a anaranjado palo.

Forma: globosa, sub globoso, ocasionalmente irregular.

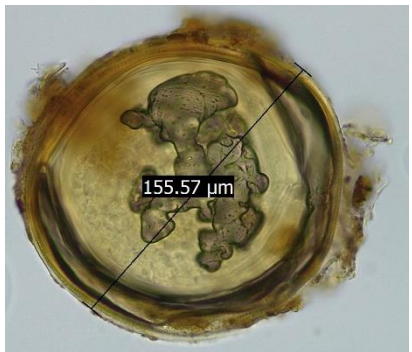
Diámetro: 140 - 220 μm

Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Ornamentación: Si

Cicatriz: si

Reacción en melzer: si

*Acaulospora spinosissima*

Color: Amarillo claro cuando son jóvenes, se vuelven de color amarillo brillante a amarillo parduzco esporas maduras.

Forma: globosa, sub globosa. Diámetro: 120 a 187 μm.

Número de paredes: Dos (L1, L2, L3).

Ornamentación: si

Cicatriz: si Reacción en melzer: si

*Acaulospora splendida*

Color: Hyalina.

Forma: globosa, sub globoso.

Diámetro: 190 - 250  $\mu\text{m}$

Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Ornamentación: No

Cicatriz: si

Reacción en melzer: No

*Acaulospora tuberculata*

Color: Café claro.

Forma: globosa, sub globoso.

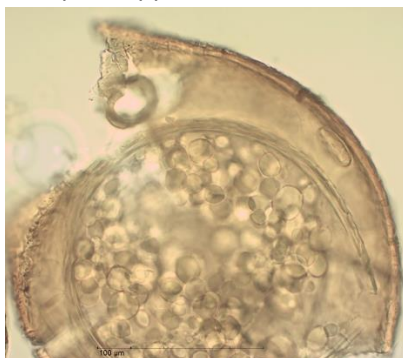
Diámetro: 255 - 340  $\mu\text{m}$

Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Ornamentación: Si

Cicatriz: si

Reacción en melzer: si

*Ambispora appendicula*

Color: Amarillo cremoso

Forma: globosa, sub globoso.  
ocasionalmente irregular.

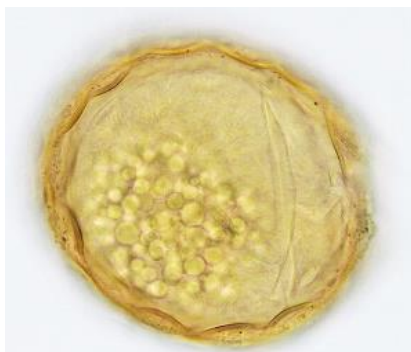
Diámetro: 170 - 390  $\mu\text{m}$

Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Ornamentación: Si

Pedicelo: Si

Reacción en melzer: si

*Ambispora sp*

Color: Amarilla a crema.

Forma: globosa, sub globosa

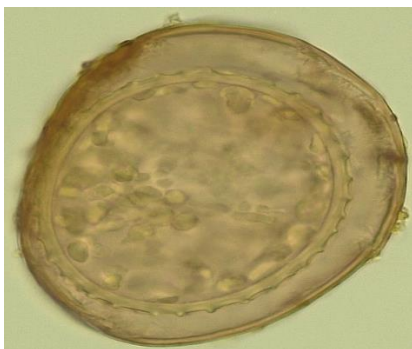
Diámetro: 60 - 85  $\mu\text{m}$ .

Número de paredes: tres (L1, L2 y L3).

Ornamentación: si

Cicatriz: no

Reacción en melzer: Si

*Ambispora sp reticulata*

Color: Amarillo café

Forma: globosa, Ovalada.

Diámetro: 87 - 150  $\mu\text{m}$ 

Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Ornamentación: Si

Pedicelo: Si

Reacción en melzer: si

*Cetraspora gilmorei*

Color: Hyalino claro

Forma: globosa, sub globoso.

Diámetro: 204 - 320  $\mu\text{m}$ 

Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Placa germinativa: Si

Bulbo: Si

Reacción en melzer: si

*Cetraspora pellucida*

Color: Café

Forma: globosa.

Diámetro: 58 - 212  $\mu\text{m}$ 

Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Placa germinativa: Si

Bulbo: Si

Reacción en melzer: si

*Claroideoglopus claroideum*

Color: Crema a amarillo claro.

Forma: Globosa, sub globosa Diámetro: 80-160  $\mu\text{m}$ .

Número de paredes: Cuatro (L1, L2, L3 y L4).

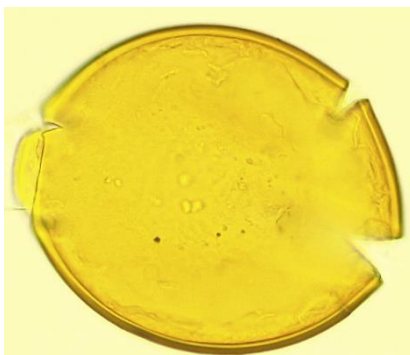
Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No



---

*Claroideoglopus etunicatum*

Color: Naranja a marrón rojizo. Forma: Globosa, sub globosa Diámetro: 60-160  $\mu\text{m}$ .  
 Número de paredes: Dos (L1 y L2).  
 Ornamentación: No  
 Cicatriz: No  
 Reacción en melzer: No

---

*Diversispora sp*

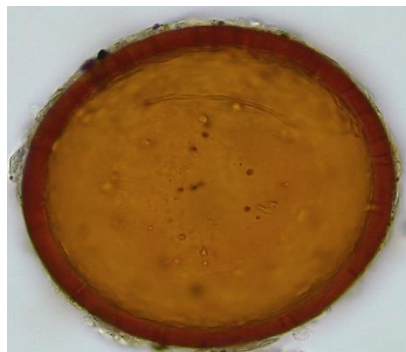
Color: Hyalino  
 Forma: globosa, sub globoso.  
 Diámetro: 70 - 100  $\mu\text{m}$   
 Número de paredes: Dos (L1, L2).  
 Ornamentacion: No  
 Pedicelo: Si  
 Reacción en melzer: Si

---

*Diversispora spurca*

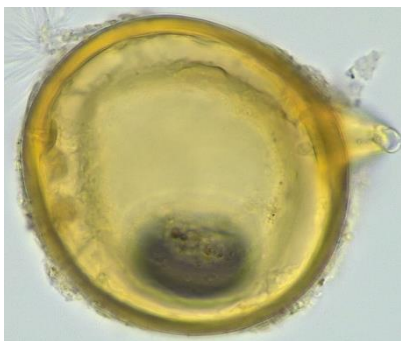
Color: Sub hialina a marrón amarillo pálido.  
 Forma: Globosa, sub globosa  
 Diámetro: 60-120  $\mu\text{m}$ .  
 Número de paredes: Dos (L1 y L2).  
 Ornamentación: No  
 Cicatriz: No  
 Reacción en melzer: No

---

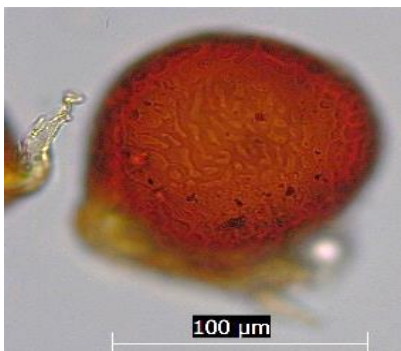
*Funeliformes geosporum*

Color: amarillo-marrón a naranja oscuro-marrón.  
 Forma: Globosa, sub globosa  
 Diámetro: 120-240  $\mu\text{m}$ .  
 Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3)  
 Ornamentación: No  
 Cicatriz: No  
 Reacción en melzer: No

---

*Funeliformes mossea*

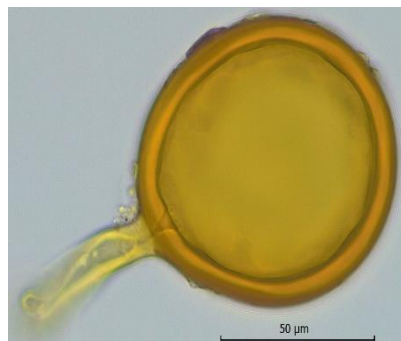
Color: Amarillo palo brillante.  
 Forma: globosa, sub globoso.  
 Diámetro: 80 - 280  $\mu\text{m}$   
 Número de paredes: Una (L1).  
 Ornamentacion: No  
 Cicatriz: No  
 Reacción en melzer: No

*Funeliglomus San Martinensis*

Color: Amarillo, rojo a marrón claro.  
 Forma: Globosa a sub globosa  
 Diámetro: 150-220  $\mu\text{m}$ .  
 Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).  
 Ornamentación: Si  
 Cicatriz: No  
 Reacción en melzer: No

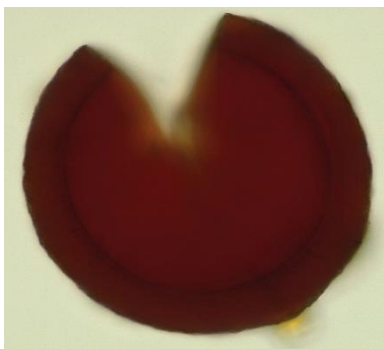
*Glomus brohultti*

Color: Amarilla a Café claro.  
 Forma: globosa, sub globoso.  
 Diámetro: 70 - 134  $\mu\text{m}$   
 Número de paredes: Una (L1).  
 Ornamentacion: No  
 Cicatriz: No  
 Reacción en melzer: No

*Glomus macrocarpum*

Color: Naranja a marrón claro. Forma:  
 Globosa a sub globosa Diámetro: 180-  
 450  $\mu\text{m}$  en esporocarpos.  
 Número de paredes: Dos (L1, L2).  
 Ornamentación: No  
 Cicatriz: No  
 Reacción en melzer: No

---

*Glomus magnicaule*

Color: Cafe

Forma: globosa, sub globoso,

Diámetro: 125 - 175  $\mu\text{m}$ 

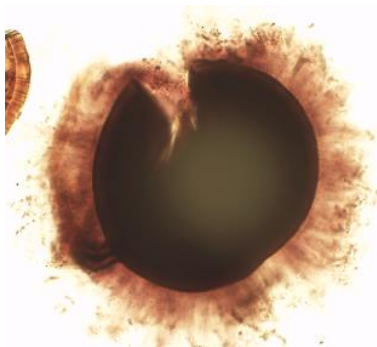
Número de paredes: Dos (L1, L2).

Ornamentacion: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

---

*Halonatospora pansihalos*

Color: Amarillo palo a Amarillo oscuro.

Forma: globosa, sub globoso.

Diámetro: 100 - 180  $\mu\text{m}$ 

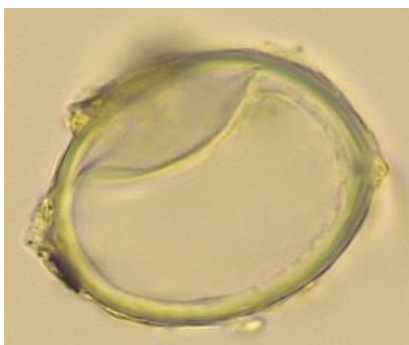
Número de paredes: Una (L1).

Ornamentacion: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: Si

---

*Paraglomus laccatum*

Color: Hyalina.

Forma: globosa, sub globoso.

Diámetro: 50 - 130  $\mu\text{m}$ 

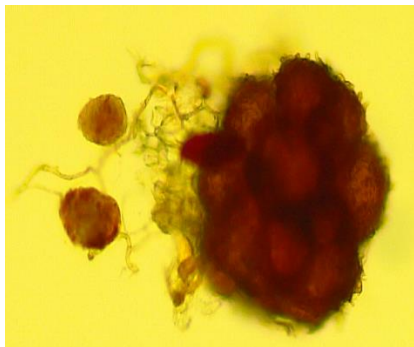
Número de paredes: Una (L1).

Ornamentacion: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

---

*Sclerocystis sinuosum*

Color: Cafe

Forma: globosa, sub globoso  
(aglomeradas).Diámetro: 248 - 412  $\mu\text{m}$ 

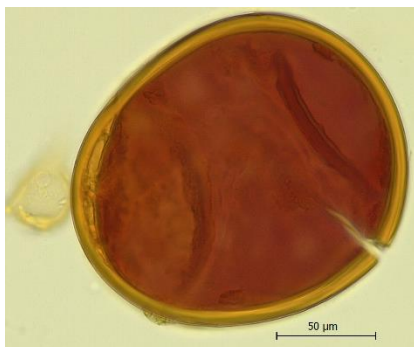
Número de paredes: Una (L1).

Ornamentacion: No, Forma de hifa  
cerebiriforme.

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

---

*Scutellospora dipurpurancens*

Color: Amarillo palo.

Forma: globosa, sub globoso.

Diámetro: 140 - 240 μm

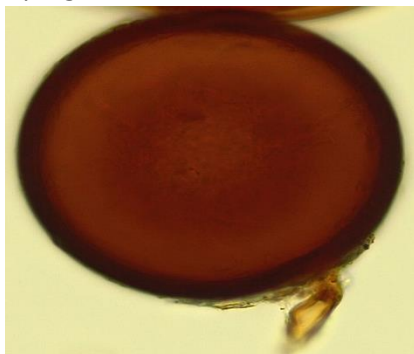
Número de paredes: Dos (L1, L2).

Ornamentacion: No

Bulbo: Si

Reacción en melzer: Si

---

*Septoglopus constrictum*

Color: Café Rojiso.

Forma: globosa, sub globoso.

Diámetro: 100 - 120 μm

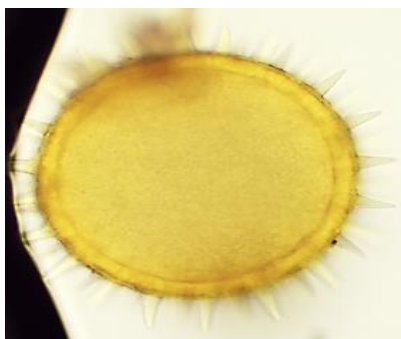
Número de paredes: Una (L1).

Ornamentacion: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

---

*Tricispora sp*

Color: Amarillo claro.

Forma: globosa.

Diámetro: 90 -110 μm

Número de paredes: Dos (L1, L2).

Ornamentacion: Si

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

# Diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares en diferentes ecosistemas de cacao (*Theobroma cacao*) en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú

*por* Deyvis Córdova Sinarahua

---

**Fecha de entrega:** 22-jun-2023 01:35p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2120996466

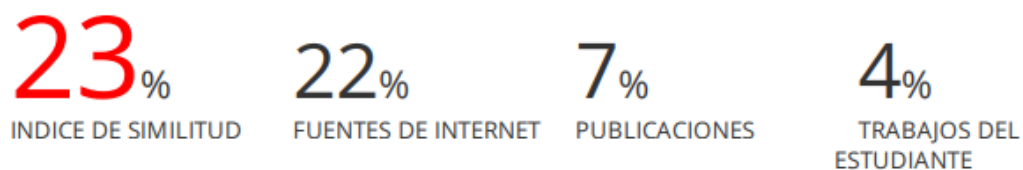
**Nombre del archivo:** TESIS\_FINAL\_DEYVIS\_CORDOVA\_1.4\_-\_22-06-2023.docx (18.54M)

**Total de palabras:** 19392

**Total de caracteres:** 110311

## Diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares en diferentes ecosistemas de cacao (*Theobroma cacao*) en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho – Perú

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>tesis.unsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>7%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.unsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>