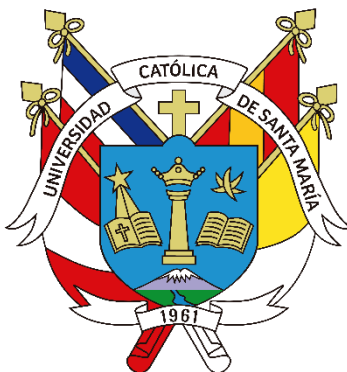


**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y**  
**del Ambiente**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**



**IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE HONGOS MICORRÍZICOS  
ARBUSCULARES ASOCIADOS A LA ESPECIE *POLYLEPIS  
RUGULOSA* DEL BOSQUE DE QUEÑUA EN CACAYACO, CON  
POTENCIAL PARA REFORESTACIÓN, AREQUIPA- 2023.**

Tesis presentada por la Bachiller:

**Mamani Mamani, Miriam Edith**

Para optar el Título Profesional de  
**Ingeniera Ambiental**

Asesora:

**Mg. Chanove Manrique, Andrea  
Marieta**

**Arequipa - Perú**

**2024**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA AMBIENTAL**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 05 de Diciembre del 2023

**Dictamen: 009366-C-EPIA-2023**

Visto el borrador del expediente 009366, presentado por:

**2015222962 - MAMANI MAMANI MIRIAM EDITH**

Titulado:

**IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES ASOCIADOS A LA ESPECIE POLYLEPIS RUGULOSA DEL BOSQUE DE QUEÑUA EN CACAYACO, CON POTENCIAL PARA REFORESTACIÓN, AREQUIPA-2023.**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**29611452 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO  
DICTAMINADOR**



**43238145 - BENEGAS LLANOS ROSARIO CAROLINA  
DICTAMINADOR**



**43606549 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON  
DICTAMINADOR**



# IDENTIFICACIÓN MORFOLÓGICA DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES ASOCIADOS A LA ESPECIE POLYLEPIS RUGULOSA DEL BOSQUE DE QUEÑUA EN CACAYACO, CON POTENCIAL PARA REFORESTACIÓN, AREQUIPA- 2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="https://polodelconocimiento.com">polodelconocimiento.com</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://repositorio.ucsm.edu.pe">repositorio.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://elperuano.pe">elperuano.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	Alessandra Turrini, Manuela Giovannetti. "Arbuscular mycorrhizal fungi in national parks, nature reserves and protected areas worldwide: a strategic perspective for their in situ conservation", Mycorrhiza, 2011 Publicación	1%

## DEDICATORIA

*Con bastante emoción dedico mi trabajo de investigación a mi familia, que me ha apoyado y me ha dado soporte en esta larga travesía.*

*A mi querida madre Victoria, quien con su amor, consejos y apoyo me ha dado fuerzas para seguir adelante en cada etapa de mi vida.*

*A mi querido padre César, quien con su empuje, consejos y comprensión me han impulsado a seguir adelante.*

*A mi amado Daniel, quien con su comprensión, aliento y apoyo me ha brindado las fuerzas y empuje para culminar este proyecto.*

*A mis amados hermanos, debido a que con ellos he podido despejar la mente y compartir momentos agradables para luego continuar y culminar con este proyecto.*

*Gracias por ser mi soporte en esta etapa de mi vida. ¡Los amo!*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco en primer lugar a mi madre y a mi padre, por haberme apoyado en este en esta etapa de mi vida, sus consejos y aliento han sido primordial a lo largo de mi vida.*

*Quiero agradecer en especial a la Ingeniera Andrea Chanove, quien con su guía, apoyo y paciencia ha sido un pilar importante para la culminación de esta investigación; le agradezco también por sus consejos de vida, me dieron el empuje y la valentía para seguir adelante y culminar con éxito este proceso.*

*Agradezco del mismo modo al Ing. Antonio, Ing. Berly, Dr. Armando y a la Ing. Rosario, quienes con sus conocimientos y apoyo incondicional fueron claves para la finalización de este proyecto.*

*Agradezco a Daniel por ser mi compañero de vida y por haberme brindado su apoyo y aliento en los momentos de fatiga y estrés, así como por acompañarme en la aventura de ir al Bosque de Polylepis a extraer mis muestras.*

*Del mismo modo agradezco a mi hermano Carlos, quien en el último momento me apoyo y estuvo a mi lado en mis amanecidas para poder sacar adelante esta investigación.*

*Quiero agradecer a mi incondicional amiga Yanina, ella fue la responsable de que pudiera ser parte de un maravilloso equipo de trabajo y así poder culminar mi tesis.*

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en el Bosque de Queñua en Cacayaco, actualmente estos bosques están gravemente amenazados por diferentes actividades antrópicas, por lo cual la conservación de estos bosques es de vital importancia debido a que nos brinda diversos servicios ecosistémicos y una gran biodiversidad.

El estudio tiene como objetivo identificar morfológicamente los Hongos Micorrízicos Arbusculares asociados a la especie *Polylepis rugulosa* y mediante una revisión bibliográfica determinar si los Hongos Micorrízicos Arbusculares identificados podrían favorecer al crecimiento de la *Polylepis*. Se lograron identificar en total 41 especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares entre las dos zonas de estudio, pertenecientes a los géneros *Acaulospora*, *Diversispora*, *Claroideoglosum*, *Dentiscutata*, *Racocetra*, *Scutellospora*, *Funneliformis*, *Glomus* y *Rhizophagus*, de estos géneros identificados los que se encontraron en mayor cantidad fueron los géneros *Acaulospora* y *Glomus*, con lo cual se infiere que estos dos géneros tienen una alta compatibilidad con el suelo de los Bosques de Queñua.

En total de las 41 especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares identificadas entre la zona A y la zona B, solo se tienen 29 especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares en la zona A del total de 41 especies identificadas y se tienen 26 especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares en la zona B del total de 41 especies identificadas; la zona A y la zona B comparten un total de 14 especies en común de Hongos Micorrízicos Arbusculares.

Otros valores que se obtuvieron están relacionados a la mayor riqueza de especies que se presenta en la Zona A debido a que en esta zona se tiene 29 especies de las 41 especies en total que se identificaron y a la vez tiene la menor abundancia con un total de 190 esporas, caso contrario tenemos a la Zona B la cual tiene menor riqueza con un total de 26 especies de las 41 especies identificadas y una mayor abundancia con 307 esporas.

Cabe resaltar que esta investigación es la primera que se realiza en el Bosque de Queñua en Arequipa, se espera que la data obtenida en este estudio sea de gran aporte para futuras investigaciones.

**Palabras clave:** Hongos micorrízicos arbusculares, inoculación, *Polylepis*, bosques.



## ABSTRACT

The present research was carried out in the Queñua Forest in Cacayaco, currently these forests are seriously threatened by different anthropogenic activities, which is why the conservation of these forests is of vital importance because they provide us with various ecosystem services and great biodiversity.

The study aims to morphologically identify the Arbuscular Mycorrhizal Fungi associated with the species *Polylepis rugulosa* and, through a bibliographic review, determine if the identified Arbuscular Mycorrhizal Fungi could favor the growth of *Polylepis*. A total of 41 species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi were identified between the two study areas, belonging to the genera *Acaulospora*, *Diversispora*, *Claroideoglosum*, *Dentiscutata*, *Racocetra*, *Scutellospora*, *Funneliformis*, *Glomus* and *Rhizophagus*, of these identified genera those that were found in greatest quantity were the genera *Acaulospora* and *Glomus*, which infers that these two genera have a high compatibility with the soil of the Queñua Forests.

In total of the 41 species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi identified between zone A and zone B, there are only 29 species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in zone A of the total of 41 species identified and there are 26 species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the zone B of the total of 41 species identified; Zone A and Zone B share a total of 14 species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in common.

Other values that were obtained are related to the greater richness of species that occurs in Zone A because in this zone there are 29 species of the 41 species in total that were identified and at the same time it has the lowest abundance with a total of 190 spores, otherwise we have Zone B which has lower richness with a total of 26 species of the 41 species identified and a greater abundance with 307 spores.

It should be noted that this research is the first to be carried out in the Queñua Forest in Arequipa, it is expected that the data obtained in this study will be of great contribution to future research.

**Keywords:** Arbuscular mycorrhizal fungi, inoculation, *Polylepis*, forests.



## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Planteamiento del problema .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Problemática de Investigación .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Justificación .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1 Justificación Ambiental.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2 Justificación económica.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.3 Justificación social .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.4 Justificación Técnico – Científica.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1 General.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2 Específicos.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Hipótesis .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Fundamento teórico.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Antecedentes de la investigación.....</b>	<b>9</b>

<b>2.2</b>	<b>Marco teórico.....</b>	<b>12</b>
2.2.1	Bosque Relicto Altoandino .....	12
2.2.2	Polylepis .....	12
2.2.3	Polylepis rugulosa .....	13
2.2.4	Bosque de Polylepis.....	13
2.2.5	Micorrizas.....	13
2.2.6	Tipo de hongos micorrízicos .....	14
2.2.6.1	Ectomicorrizas (ECM).....	14
2.2.6.2	Endomicorrizas.....	14
2.2.7	Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA).....	14
2.2.8	Beneficios que proveen los HMA.....	15
2.2.8.1	Tolerancia al estrés abiótico .....	15
2.2.8.2	Mejoradores de la calidad de suelo.....	15
2.2.9	Interacción de Hongos Micorrízicos Arbusculares con especies vegetales .....	16
2.2.10	Reforestación.....	16
2.2.11	Índice de Shannon-Wiener.....	17
2.2.12	Índice de Equitatividad de Pielou.....	17
<b>2.3</b>	<b>Marco Legal.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>20</b>
<b>3</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipo de investigación.....</b>	<b>21</b>

3.2	Nivel de investigación.....	21
3.3	Diseño de la investigación .....	21
3.3.1	Campo de verificación .....	21
3.3.2	Materiales y equipos .....	22
3.3.2.1	Materiales de Campo .....	22
3.3.2.2	Materiales de Laboratorio.....	23
3.3.2.3	Reactivos .....	23
3.3.2.4	Equipos.....	24
3.3.3	Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos .....	24
3.3.3.1	Análisis Geoespacial.....	24
3.3.3.2	Análisis documental .....	24
3.4	Métodos de la investigación.....	25
3.4.1	Recolección de muestras de suelo del Bosque de Queñua, Cacayaco- Arequipa .....	25
3.4.2	Identificación morfológica de los HMA asociados a la Queñua (Polylepis rugulosa).....	28
3.4.2.1	Extracción de esporas .....	28
3.4.2.2	Montaje de esporas.....	28
3.4.2.3	Identificación morfológica de los HMA .....	28
3.4.3	Determinación del potencial de los HMA como estimuladores de crecimiento de las especies vegetales para fines de reforestación.....	29
CAPITULO IV .....		30

<b>4 RESULTADO Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Recolección de muestras de suelo del Bosque de Queñua, Cacayaco-         Arequipa .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.1 Caracterización de la <i>Polylepis</i>.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.2 Profundidad de muestreo .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.3 Tamaño de la muestra .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.4 Transporte y acondicionamiento de las muestras.....</b>	<b>35</b>
<b>4.2 Identificación morfológica de los HMA asociados a la Queñua (<i>Polylepis         rugulosa</i>).....</b>	<b>36</b>
<b>4.2.1 Densidad de especies de HMA (Número de especies por cada 100 g de                 suelo (vivas/muertas)) .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2.2 Identificación morfológica de los HMA .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.3 Determinación de Índices de Diversidad .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 Determinación del potencial de los HMA como estimuladores de         crecimiento de las especies vegetales para fines de reforestación.....</b>	<b>48</b>
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>53</b>
<b>5 CONCLUSIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>6 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Mapa del Bosque de Queñua con los puntos de muestreo.....	22
<b>Figura 2</b>	Uso del microscopio para la identificación morfológica de los HMA .....	29
<b>Figura 3</b>	Bosque de Queñua .....	31
<b>Figura 4</b>	Altura de la Zona A .....	31
<b>Figura 5</b>	Altura de la Polylepis.....	32
<b>Figura 6</b>	Distancia del tronco de la Polylepis al punto de muestreo .....	33
<b>Figura 7</b>	Profundidad de muestro .....	33
<b>Figura 8</b>	Muestra con raíces .....	34
<b>Figura 9</b>	Rotulación de la muestra N° 1 de la Zona A .....	34
<b>Figura 10</b>	Obtención de la muestra .....	35
<b>Figura 11</b>	Conservación de las muestras de suelo de la Zona A y Zona B .....	35
<b>Figura 12</b>	Gráfica del número de esporas de los géneros de HMA identificados en la Zona A .....	44
<b>Figura 13</b>	Gráfica del número de esporas de los géneros de HMA identificados en la Zona B.....	45
<b>Figura 14</b>	Bosque de Queñua o Polylepis .....	82
<b>Figura 15</b>	Recolección de muestras en el Bosque de Polylepis .....	82
<b>Figura 16</b>	Plantaciones de Queñua .....	82
<b>Figura 17</b>	Uso del GPS.....	82
<b>Figura 18</b>	Vivero de especies de Polylepis en Cacayaco .....	83

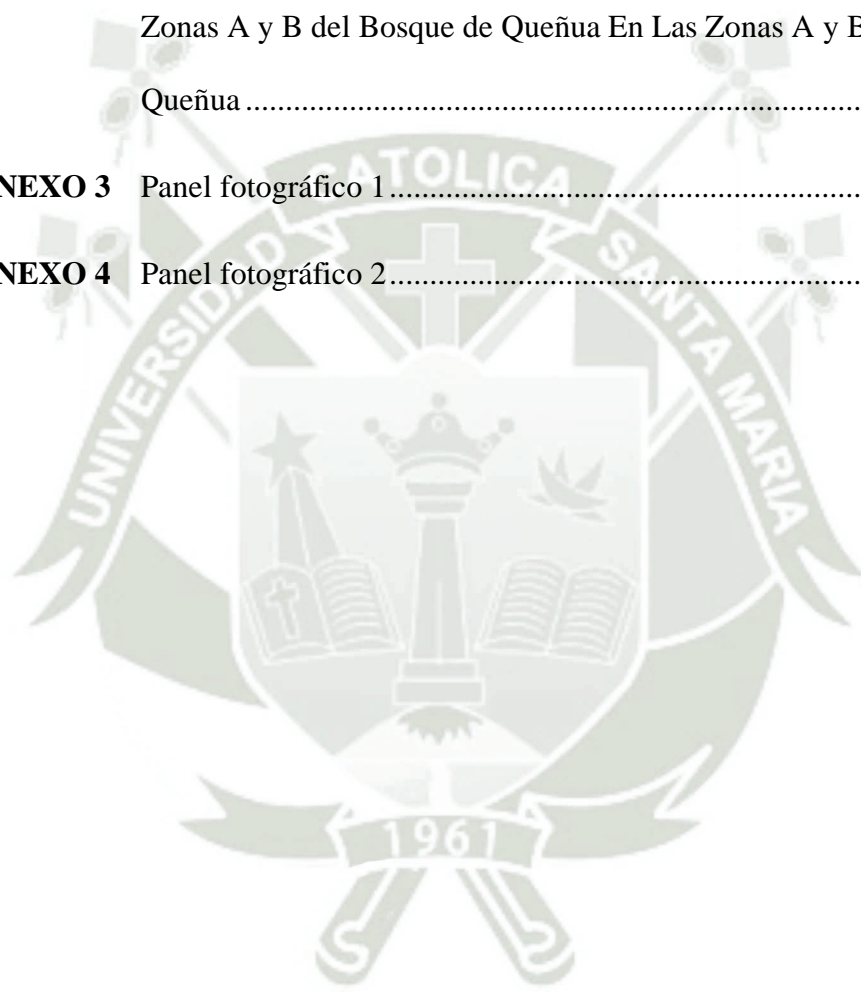
<b>Figura 19</b>	Refrigeración de muestras .....	84
<b>Figura 20</b>	Muestra número 1 de la Zona A .....	84
<b>Figura 21</b>	Peso de 100 g de muestra de suelo .....	84
<b>Figura 22</b>	Preparación de muestra de suelo con 1L de agua .....	84
<b>Figura 23</b>	Mescla de la muestra con agua .....	85
<b>Figura 24</b>	Tamices de 600 um 425 um 106 um y 75 um.....	85
<b>Figura 25</b>	Vertimiento de la muestra en los Tamices.....	85
<b>Figura 26</b>	Recolección de la muestra obtenida en el tamiz N. <sup>a</sup> 75 um.....	85
<b>Figura 27</b>	Sacarosa al 20% y sacarosa al 60% .....	86
<b>Figura 28</b>	Sacarosa en tubos de precipitación .....	86
<b>Figura 29</b>	Centrifugado en gradiente de sacarosa al 20% y 60% a 3000 rpm.....	86
<b>Figura 30</b>	Tubos centrífugos con sobrenadante.....	86
<b>Figura 31</b>	Enjuague de sacara.....	87
<b>Figura 32</b>	Esteroscopio usado para el conteo de esporas .....	87
<b>Figura 33</b>	Montaje de esporas en portaobjetos.....	88
<b>Figura 34</b>	Reactivo de PVLG y Melzer.....	88
<b>Figura 35</b>	Montaje de esporas en portaobjetos.....	88
<b>Figura 36</b>	Identificación de HMA .....	88
<b>Figura 37</b>	Trabajo de caracterización de HMA en laboratorio.....	89
<b>Figura 38</b>	Laboratorio del pabellón E de la UCSM .....	89

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Altura de las Zonas A y B .....	25
<b>Tabla 2</b>	Coordenadas de Ubicación de los Puntos de Muestreos de la Zona A.....	26
<b>Tabla 3</b>	Coordenadas de Ubicación de los Puntos de Muestreos de la Zona B.....	27
<b>Tabla 4</b>	Numero de Esporas de HMA (vivas/muertas) en 100 g de suelo.....	36
<b>Tabla 5</b>	Especies de HMA y número de esporas, identificados en el Bosque de Queñua.....	38
<b>Tabla 6</b>	Número de Especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares identificados en mayor cantidad .....	41
<b>Tabla 7</b>	Índice de Shannon-Wiener de la Zona A y la Zona B.....	46
<b>Tabla 8</b>	Índice de Equitatividad de Pielou de la Zona A y la Zona B .....	47
<b>Tabla 9</b>	Determinación de las características de crecimiento en las especies vegetales mediante la inoculación con HMA .....	49
<b>Tabla 10</b>	Determinación del Índice de Shannon en la Zona A.....	66
<b>Tabla 11</b>	Determinación del Índice de Shannon en la Zona B .....	67
<b>Tabla 12</b>	Especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares identificados en las Zonas A y B del Bosque de Queñua .....	68

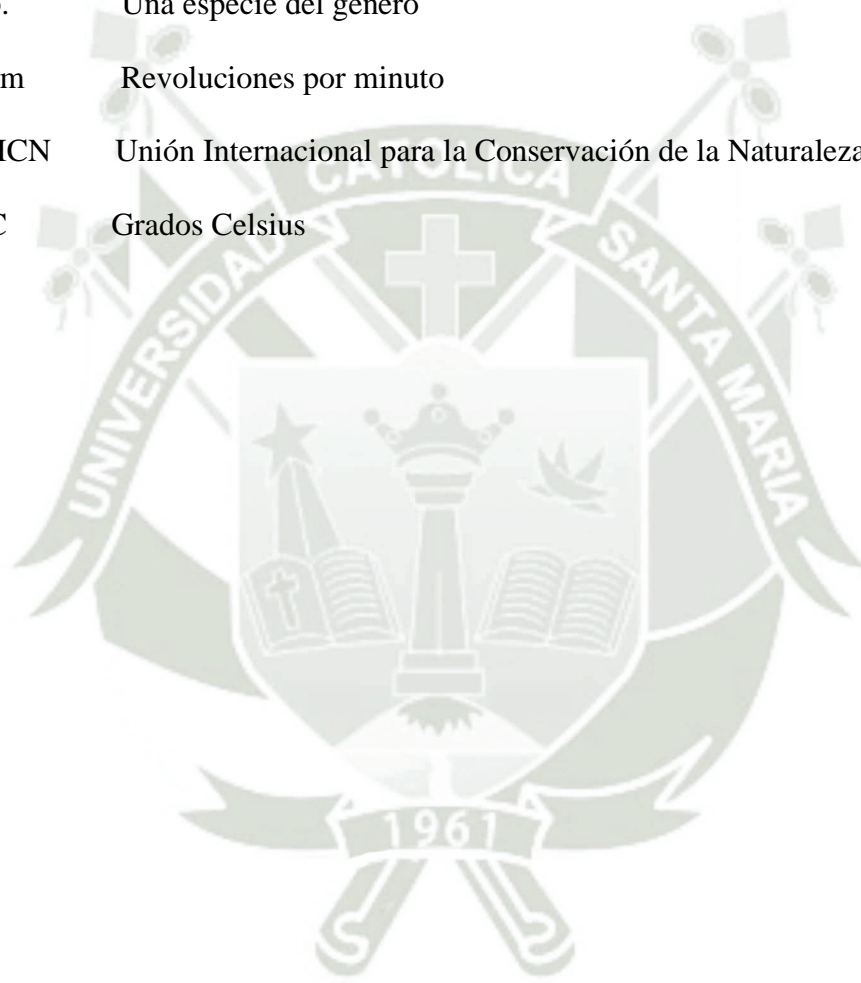
## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1</b>	Determinación del Índice de Shannon de la zona A y B. ....	66
<b>ANEXO 2</b>	Especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares identificados en las Zonas A y B del Bosque de Queñua En Las Zonas A y B Del Bosque De Queñua .....	68
<b>ANEXO 3</b>	Panel fotográfico 1 .....	82
<b>ANEXO 4</b>	Panel fotográfico 2.....	84



## LISTA DE ABREVIATURAS

cm	Centímetros
HMA	Hongos Micorrízicos Arbusculares
m	Metros
PVLG	Polivinil-Lactoglicerol
sp.	Una especie del género
rpm	Revoluciones por minuto
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
°C	Grados Celsius



## INTRODUCCIÓN

Los Bosques de *Polylepis* son uno de los más representativos de América del sur, estos contienen una gran diversidad de especies endémicas, donde actualmente nos indica la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) que algunas de las especies están en peligro crítico de extinción (Vistín et al., 2023), así mismo estos bosques son importantes refugios para la biodiversidad.

En el Perú se calcula que un 98% de los Bosques de *Polylepis* han desaparecido, actualmente estos bosques otorgan diferentes servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica, soporte de biodiversidad, entre otros (Segovia et al., 2021); estos Bosques relictos altoandinos presentan una alta fragmentación (MINAM, 2015), debido a diferentes factores que lo ocasionan como la disminución de su tamaño poblacional causadas por las diferentes actividades antrópicas (Segovia et al., 2021).

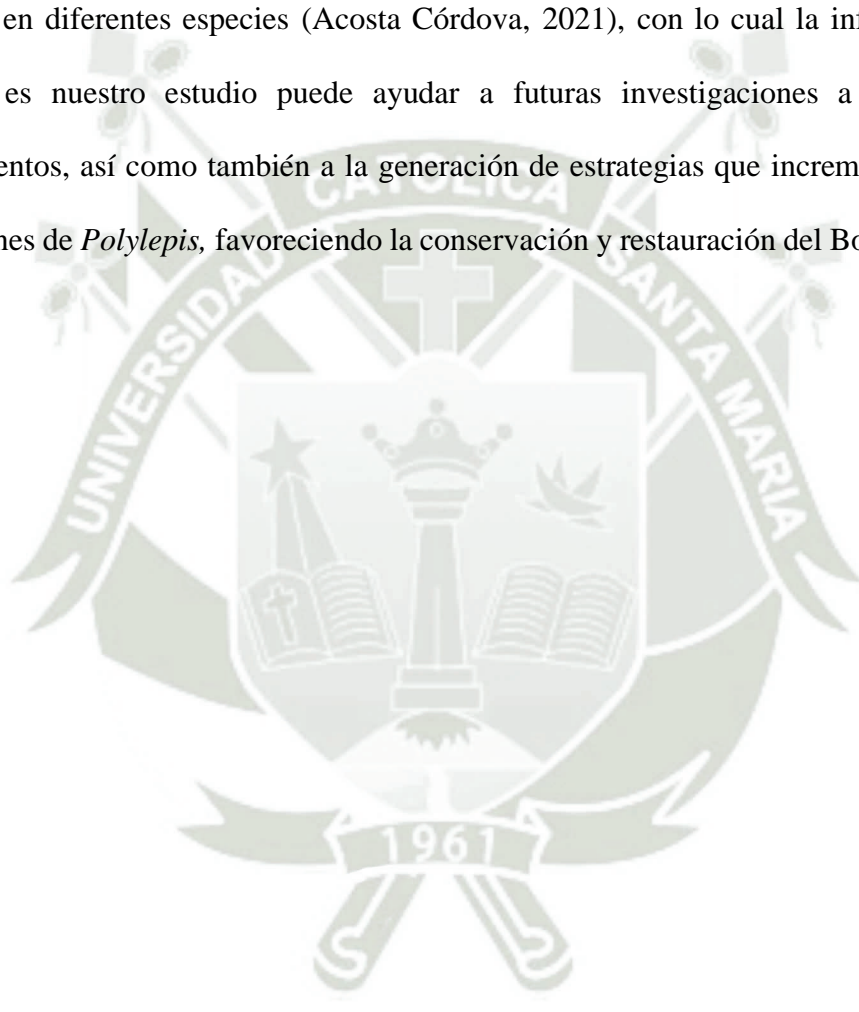
Actualmente se vienen realizando diferentes estudios relacionados a la caracterización e inoculación de HMA en especies, para determinar la taxonomía de los hongos micorrízicos arbusculares y que efecto tienen en el desarrollo y crecimiento de las especies vegetales.

Los hongos micorrízicos arbusculares mejoran la eficiencia de la absorción y movilización de nutrientes, ayudan a las especies a tolerar el estrés biótico y abiótico, promueven la coexistencia entre especies vegetales, los HMA en ambientes pobres en nutrientes contribuyen al establecimiento de las plantas y también a la mejora y protección del suelo (Outamamat et al., 2022).

Debido a la importancia que presentan los Bosques de *Polylepis*, es necesario plantear diferentes estrategias de conservación, los cuales puedan ayudar al manejo y restauración de los bosques.

Esta investigación tiene como objetivo, identificar morfológicamente los Hongos Micorrízicos Arbusculares que se encuentran en el Bosque de Queñua en Cacayaco y a su vez realizar una revisión bibliográfica acerca de cómo estos géneros identificados pueden influir en el crecimiento del género *Polylepis*.

Se han desarrollado estudios, donde se demuestra el efecto benéfico de la inoculación de HMA en diferentes especies (Acosta Córdova, 2021), con lo cual la información y data obtenida es nuestro estudio puede ayudar a futuras investigaciones a generar nuevos conocimientos, así como también a la generación de estrategias que incrementen el éxito de plantaciones de *Polylepis*, favoreciendo la conservación y restauración del Bosque de Queñua.





# CAPITULO I

## 1 Planteamiento del problema

### 1.1 Problemática de Investigación

A nivel mundial, la deforestación está generando problemas y contribuyendo en el cambio climático, así como en la degradación de suelos, por lo cual es importante dar énfasis en la restauración y conservación de los bosques (Romero Veliz, 2021).

El Bosque de Queñua es de vital importancia, ya que nos brinda diferentes servicios ecosistémicos como la regulación y almacenamiento de agua, el secuestro de carbono, regulación del clima, así como también previene la erosión de los suelos (Jururo Quispe, 2018).

La especie *Polylepis rugulosa* “Queñua” actualmente se encuentra catalogada como especie, debido a que ha sido altamente amenazada por las actividades antropogénicas como agricultura, tala indiscriminada e incendios. En los últimos años, el Bosque de Queñua ha sufrido una considerable disminución, debido a diversos factores antropogénicos, como la tala de bosques, la extracción de leña, la introducción de otras especies y el aumento de las áreas de pastoreo (Zegarra Amézquita, 2014), estas acciones están causando la pérdida del entorno natural y aumentando las emisiones de dióxido de carbono, lo que provoca el calentamiento global, la alteración del clima, la disminución de la diversidad biológica y los ecosistemas, perjudicando al bienestar de la población (Jururo Quispe, 2018).

Por lo cual resulta de gran importancia plantear acciones para su recuperación a través de prácticas de restauración, de reforestación, diversos estudios nos indican que la restauración de áreas degradadas puede acelerarse introduciendo microorganismos claves para la reducción de este estrés abiótico y este se puede dar a través de la relación que existe entre las raíces de las especies con determinados hongos micorrízicos arbusculares.

En el Perú hoy en día son todavía incipientes las investigaciones que se realizan acerca de los Hongos Micorrízicos Arbusculares, si bien se tienen algunos estudios en la selva peruana, estos son casi escasos; en el sur del país estas investigaciones también son limitadas,

a pesar de que mundialmente hay diversas investigaciones que trabajan con estos microorganismos y nos dan a conocer los diferentes beneficios que brindan a las especies.

Considerando todos estos aspectos, es de vital importancia conocer las asociaciones micorrízicas con la que cuenta la especie *Polylepis rugulosa* (Queñua) mediante la identificación de los HMA, con el fin de conocer su potencial para posteriores aplicaciones en reforestación.

## **1.2 Justificación**

### **1.2.1 Justificación Ambiental**

Los Bosques de Queñua son de gran importancia, ya que nos brindan diferentes servicios ecosistémicos tales como la regulación hídrica donde las hojas y ramas de los árboles de Queñua recepcionaran las gotas de lluvia evitando así la erosión del suelo y provocando que la lluvia descienda y se infiltre en el suelo para así formar pukios o manantiales; servicio de secuestro de carbono, estos bosques son considerados las principales fuentes de absorción de CO<sub>2</sub>; servicio de flora de los Bosques de Queñua, el cual alberga 140 especies vegetales; servicio de fauna de los Bosques de Queñua, este alberga 73 especies de aves, etc. (Jururo, 2018), a pesar de ello estos bosques están siendo amenazados por actividades antropogénicas (agrícola, maderera y ganadera) y por efectos del cambio climático, lo cual afecta a las diferentes especies de flora y fauna que se encuentran en el bosque, la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) reporta 14 especies como vulnerables, así mismo el bosque alberga diversas especies nativas las cuales desempeñan importantes funciones hidrológicas (Valdivia Bueno, 2020), por lo cual es de vital importancia plantear estrategias de reforestación (Romero Veliz, 2021), que prioricen la conservación y restauración ecológica de las zonas degradadas (Aguilar Aguilar, 2022), esto se puede hacer posible mediante la obtención de data confiable generada mediante la identificación de hongos micorrízicos arbusculares de los suelos del Bosque de Queñua; los

HMA forman asociaciones mutualistas con las raíces de las especies, brindándoles propiedades de absorción de nutrientes, lo cual podría generar el aumento de supervivencia de las especies, con lo cual con una correcta estrategia de reforestación se podría generar el aumento de la población de la *Polylepis*.

Es de suma importancia realizar estudios y proyectos de reforestación de la *Polylepis*, ya que al encontrarse en estado vulnerable y no tomar acciones adecuadas se puede tener un déficit de los diferentes servicios ecosistémicos que nos brinda; por el mismo hecho de ser una especie nativa tiene potencial de adaptación a condiciones edafo-climáticas extremas, con lo cual si se trabaja con los HMA identificados, estas especies pueden actuar como "islas de recursos", siendo una permanente fuente de inóculo en el sector de implantación, estimulando la revegetación de los suelos degradados (Carlos et al., 2020).

### **1.2.2 Justificación económica**

Esta investigación realizada permitirá a futuro mediante una estrategia de reforestación aumentar significativamente desde la perspectiva de la economía ambiental el Valor Económico de los servicios ecosistémicos que nos brinda el Bosque de Queñua.

Estos HMA también pueden ser utilizados en futuros proyectos de silvicultura de manera directa para obtener beneficios para el ser humano a través de la extracción de recursos, como puede ser la leña, etc., con lo cual se va a beneficiar económicamente el poblador.

### **1.2.3 Justificación social**

El árbol de la Queñua trae numerosos beneficios sociales asociados a los servicios ecosistémicos que brindan, como regulación hídrica, control de la erosión, y reducción de la contaminación atmosférica, que traen mejora en la calidad de vida de la población. La identificación de HMA es el primer paso para potenciar procesos de recuperación e incremento de servicios ecosistémicos, previniendo la pérdida de una especie de importancia social y cultural a nivel nacional como es la *Polylepis rugulosa* (Jururo Quispe, 2018).

#### **1.2.4 Justificación Técnico – Científica**

Este estudio contribuirá en la generación de nuevos conocimientos, debido a que se tendrá conocimiento de que géneros y especies de hongos micorrízicos arbusculares están presentes en los Bosques de Queñua, con lo cual futuras investigaciones puedan hacer uso de esta data y trabajar con las asociaciones de HMA más adecuadas, para brindarle diferentes propiedades que aumenten la supervivencia de la Queñua.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Identificar morfológicamente los Hongos Micorrízicos Arbusculares con potencial de Reforestación asociados a la especie *Polylepis rugulosa* del Bosque de Queñua, Cacayaco-Arequipa.

#### **1.3.2 Específicos**

- Recolectar muestras de suelo de puntos estratégicos del Bosque de Queñua, Cacayaco-Arequipa
- Identificar morfológicamente los Hongos Micorrízicos Arbusculares asociados a la Queñua (*Polylepis rugulosa*).
- Determinar el potencial de los Hongos Micorrízicos Arbusculares como estimuladores de crecimiento de las especies vegetales para fines de reforestación.

### **1.4 Hipótesis**

En los Bosques de Queñua, donde existe la especie *Polylepis rugulosa*, categorizada como Vulnerable de acuerdo con la legislación nacional, existirá la presencia de hongos micorrízicos arbusculares asociados a esta especie.



## CAPITULO II

## 2 Fundamento teórico

### 2.1 Antecedentes de la investigación

A nivel internacional se han realizado diversas investigaciones acerca de la identificación de hongos micorrízicos arbusculares, las cuales nos brindan información acerca de los diferentes géneros y especies de HMA que se obtienen de las diferentes zonas de estudio, son de vital importancia en la rizosfera, debido a que establecen simbiosis con aproximadamente el 80 % de las especies, dicha asociación contribuye a una mejor absorción de agua y nutrientes (Urgiles et al., 2020).

La descripción de las estructuras propias de la asociación micorrízica del tipo arbuscular en el interior de raíces de especies vegetales se atribuye a Nageli en los años de 1842, pero 100 años después recién se realizaría un estudio más riguroso de los HMA (Salmerón-Santiago et al., 2015). Uno de los estudios que se realizó en México nos ayuda a contribuir al conocimiento taxonómico de los HMA, en el cual sus resultados obtenidos nos brindan cuatro especies nuevas para México, siendo estas la *Acaulospora minuta*, *A. papilosa*, *A. reducta* y *Paraglomus bolivianum*, sumando a 148 especies de HMA en México, se encontraron principalmente en suelos de textura gruesa, bajos en fósforo y ricos en calcio (Chimal et al., 2018).

En Ecuador se realizó un estudio donde se trabajaron con especies vegetales de diferentes años, distribuidas en el centro del Trópico Húmedo Ecuatoriano, se obtuvieron entre 27 y 169 esporas por 100 g de muestra de suelo, en la metodología para la identificación de los HMA se utilizó el método de tamizado en húmedo y decantación, los géneros identificados en los suelos de la especie vegetal fueron *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora* y *Gigaspora* (Belezaca et al., 2020).

Así mismo, en el 2021 la Revista Agropecuaria y Forestal publicó un artículo donde el objetivo del estudio fue determinar el potencial de las micorrizas de los suelos de las localidades de Santiago Rodríguez, se lograron identificar tres especies las cuales pertenecen

al género *Glomus*, siendo estas la *G. Fasciculatum*, *G. Geosporum* y *G. Desertícola* (Wagner et al., 2021).

La investigación de Cervantes et al. (2021) pretende establecer la diversidad de HMA que se presentan en raíces y rizosfera de las especies voluntarias de maíz, el número de esporas que se obtuvieron fueron bajos, siendo de 8 a 17.35 esporas en 50 g de suelo, esto se puede deber a que las especies eran jóvenes de uno a dos meses germinadas, se llegó a identificar 12 especies siendo *Glomus* la que se encontró en todas las muestras trabajadas.

La mayoría de estudios realizados tienen como objetivo principal la identificación de los generos y especies de HMA; Wagner et al. (2021) nos menciona que esta data generada se utilizara posteriormente en otras investigaciones para usarlo en cultivos agrícolas y plantaciones forestales. Urgiles et al. (2020) en su estudio nos indica que es importante caracterizar los HMA para conocer su diversidad biológica; así como también, determinar las principales comunidades asociadas a los diferentes cultivos, lo cual permitirá en investigaciones futuras realizar la caracterización molecular, inoculación y propagación de los HMA en especies.

Acosta Peñaloza (2019) en su investigación nos indica que la reforestación con especies nativas es el mejor método para la recuperación de un área vegetal, por lo que es esencial producir especies de vivero para la inoculación adecuada de HMA. Los Hongos Micorrízicos Arbusculares juegan un papel importante en la fertilidad del suelo, esto se debe a que funcionan asociados con las raíces de las especies. Para identificar los HMA se recurrieron a las características morfológicas de las esporas, su color, el tamaño, la forma, la ornamentación, así como el número y el grosor de las capas de las diferentes esporas. Falcón et al. (2020) nos menciona que, en la mayor parte de las zonas destinadas a la plantación de árboles, se emplean variedades especies en viveros, sin embargo, estas presentan deficiencias en términos de

calidad, siendo susceptibles a enfermedades y plagas, los HMA ejercen influencia en la fase inicial de crecimiento de las especies tropicales y durante los primeros meses de su desarrollo. Así mismo, en el estudio de Ley et al. (2021), recomienda que se deben evaluar mezclas de HMA nativos para la rehabilitación y reforestación de ecosistemas, estas especies están adaptadas a las particularidades del ecosistema, se espera que su eficacia sea superior en el proceso de establecimiento, desarrollo y sucesión de las especies forestales.

A nivel nacional se tienen algunos estudios relacionados con HMA, pero los trabajos de HMA con potencial de reforestación en los Bosques de Queñua son nulos, a continuación se destacan antecedentes relevantes para la investigación los cuales están relacionados con la identificación de HMA. Santillana & Toro (2018) en su investigación tienen por finalidad determinar el estado de micorrización de cuatro especies de pastos, el resultado que se obtuvo fue la caracterización de 16 morfotipos de hongos micorrízicos arbusculares, pertenecientes a tres géneros (*Glomus*, *Acaulospora* y *Entrophospora*); a la vez se descubrió una fuerte correlación entre el número de esporas por 100 g de suelo y el porcentaje de micorrización de las raíces.

En la Revista Cubana de Ciencias Forestales, se dio a conocer las características de la asociación micorrízica del “Romerillo macho” en su hábitat, en su metodología se realizó la determinación del porcentaje de colonización de raíces, mediante la tinción de raíces y la cuantificación del porcentaje de colonización, para la densidad de esporas se obtuvo mediante el conteo de ellas; para la extracción de esporas se utilizó la técnica de tamizado, decantación en húmedo y centrifugación para su posterior identificación, con esta información generada se puede desarrollar programas de reforestación de *Retrophyllum Rospigliosi Pilger*, la cual está catalogada como especie vulnerable (Arteaga et al., 2020).

Herrera Castillo (2019) se planteó por objetivo determinar la ocurrencia de HMA en Caoba, cuantificando el número de esporas, determinando la intensidad micorrízica de hongos en las raíces de la caoba e identificando morfológicamente los HMA asociados a *Swietenia*

*macrophylla*, se identificaron 37 especies de HMA, siendo *Acaulospora* la de mayor presencia en todas las zonas de muestreo. Otro estudio que se realizó fue en la región de San Martín, donde según Acosta Córdova (2021) obtuvo la diversidad de HMA en el cultivo de Sacha Inchi, brindando un gran aporte, ya que se determinó una nueva especie de HMA, esta fue *Funneliglomus sanmartinense*, esta especie está dentro de las 32 especies de hongos micorrizícos arbusculares que se identificaron. La información obtenida de este estudio está respaldada y es de confiabilidad, debido a que la identificación taxonómica se realizó bajo el apoyo y supervisión de taxónomos expertos y reconocidos a nivel mundial en temas relacionados a HMA.

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 *Bosque Relicto Altoandino*

Este bosque se caracteriza por pequeños parches a gran altura en los Andes, áreas montañosas con fuertes pendientes, alrededor de 3.500 a 4.900 metros sobre el nivel del mar. Ocupa solo el 0,08% de la superficie del país. Se considera un bosque relictivo debido a su mínima representatividad, baja disponibilidad y alta fragmentación. Está representado por el género *Polylepis*, también conocido como “queñual”, el cual consta de más de 19 especies. Los árboles se caracterizan por su bajo crecimiento, su altura varía de 2,5 a 10 m en zonas húmedas (MINAM, 2015).

### 2.2.2 *Polylepis*

La *Polylepis* pertenece a la familia Rosaceae y tiene características muy particulares como la polinización por viento (anemófila) y sus frutos secos, la mayoría de los bosques del Perú tienen como hábitat quebradas, laderas rocosas, ríos o matorrales abiertos en las laderas de las montañas (Aguilar Aguilar, 2022).

### 2.2.3 *Polylepis rugulosa*

La *Polylepis rugulosa* es una especie que se encuentra en la Cordillera de los Andes, especialmente en Perú, Chile y Bolivia; la *Polylepis rugulosa* se encuentra en el departamento de Arequipa, Tacna y en otros departamentos del Perú, así como en otros países de Sudamérica como en Chile, es una especie perennifolio con ramas largas y dobladas, las cuales se entrecruzan con los tallos, una de sus características está relacionada a su corteza la cual es de color marrón rojizo, se desprende en grandes trozos y puede alcanzar hasta 1 m de diámetro (Trevizan & Aguilar, 2019).

### 2.2.4 *Bosque de Polylepis*

Los Bosques de *Polylepis* se distribuyen a lo largo de los Andes centrales entre elevaciones de 3500 a 5200 msnm (Soto et al., 2022).

El bosque más representativo en Arequipa es el Bosque de Queñua (*Polylepis*), el cual tienen una superficie de 76566.26 ha, representando el 0,21% de la cobertura vegetal de la Región Arequipa. Los bosques de Queñua son un ecosistema importante, debido a que asumen un papel importante en la regulación del clima, la protección del suelo, regulación hídrica, la protección de la biodiversidad, etc., que de alguna manera ayudan en la mitigación de los efectos del cambio climático. Se tiene 14 especies que fueron reportadas como vulnerables por la UICN en 2011 y concentra diversas especies nativas que realizan la función hidrológica más importante (Valdivia Bueno, 2020).

### 2.2.5 *Micorrizas*

El término micorriza proviene de las palabras griegas *mykos* (hongo) y *rhiza* (raíz) y fue empleado por primera vez por Frank en 1885, donde describió un fenómeno que observo en las raíces de los bosques templados de América del Norte, donde se diferenciaba morfológicamente estos órganos vegetales de otras raíces que estaban relacionadas con ciertos hongos del suelo (Carlos et al., 2020).

Las micorrizas son asociaciones simbióticas que ocurren entre ciertos hongos del suelo y raíces de especies (Carlos et al., 2020). Es una relación simbiótica que se da en más del 80% de las especies terrestres y se encuentran en la mayoría de los hábitats naturales (Dodanig et al., 2022).

### **2.2.6 Tipo de hongos micorrízicos**

Las micorrizas se dividen en Ectomicorriza y las Endomicorrizas.

#### **2.2.6.1 Ectomicorrizas (ECM).**

Las ectomicorrizas están constituidas por hongos pertenecientes al grupo de los *Basidiomycetes* y diversos árboles o arbustos. Su principal característica es la formación de un manto de hifas que rodean las raíces absorbentes, generando una modificación de la raíz. Las ECM se generan en menos porcentaje que las endomicorrizas, debido a que tienen una menor cantidad de hospedantes y solo se encuentran en regiones templadas y frías (Carlos et al., 2020).

#### **2.2.6.2 Endomicorrizas**

Este tipo de micorrizas se caracteriza por crecer inter e intracelularmente en la raíz, esto no afecta morfológicamente a terrestres (Carlos et al., 2020).

### **2.2.7 Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)**

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) son un tipo de endomicorrizas asociadas con especies de cultivo u hortícolas, donde las hifas fúngicas de *Glomeromycota* invaden las células corticales de la raíz, para formar estructuras ramificadas llamadas arbusculares (Mendoza Delgado, 2021). Según el estudio de Salmerón et al. (2015) nos indica que los HMA son biótrofos obligados de especies.

Los HMA desarrollan funciones que son de suma importancia para los ecosistemas, la principal es la absorción y transferencia de nutrientes, variaciones en las relaciones entre especies vegetales y otro ser vivo, así como también las variaciones del entorno físico del suelo (Powell & Rillig, 2018).

En la actualidad los HMA son uno de los microorganismos más estudiados por los diferentes beneficios que brindan, son microorganismos que pertenecen al suelo, pero el ser humano ha llegado a aislarlos y reproducirlos, con lo cual se han convertido en grandes aliados para diferentes fines y propósitos naturales y ecológicos (Dodanig et al., 2022).

## **2.2.8 Beneficios que proveen los HMA**

### **2.2.8.1 Tolerancia al estrés abiótico**

Cuando las especies se cultivan en suelos con déficit de agua y nutrientes, la simbiosis HMA-planta aumenta el área de superficie para absorber eficientemente el agua y los nutrientes, estos son absorbidos por las hifas extramatriciales desarrollada por la simbiosis, promoviendo así el crecimiento y la reproducción de las especies vegetales. Se ha demostrado ampliamente que la simbiosis de los HMA confiere tolerancia a las especies ante el estrés hídrico. Cuando las especies vegetales se sienten estresadas, liberan una molécula de señalización llamada estrigolactona (una hormona vegetal) con lo cual solicita ayuda inmediata a los HMA (Dodanig et al., 2022).

### **2.2.8.2 Mejoradores de la calidad de suelo**

Se ha probado que los micelios de los HMA mejoran la morfología y funcionamiento de la raíz, así como también mejoran las propiedades del suelo. La inoculación de hongos micorrizicos arbusculares en el suelo, afectan positivamente en su estado de agregación, debido a una glicoproteína llamada glomalina, esta es liberada por los HMA en el entorno del suelo (Dodanig et al., 2022).

La inoculación con HMA promueve la formación y estabilidad de los agregados del suelo. La *Acaulospora colombiana* tuvo resultados positivos en la producción de agregados seco y en agua, con la *Acaulospora colombiana* y *Acaulospora morrowiae* se tuvo un mayor rendimiento en comparación con el tratamiento sin inoculación (Barbosa et al., 2019). Los HMA tienen la capacidad de mejorar la estructura del suelo, así como también tienen la

capacidad de reducir la pérdida de nutrientes del suelo, ya que esta relación simbiótica expande el área de absorción de nutrientes y previene la pérdida de nutrientes después de la lixiviación generada por la lluvia (Dodanig et al., 2022).

### ***2.2.9 Interacción de Hongos Micorrízicos Arbusculares con especies vegetales***

La interacción de las especies vegetales con los HMA depende de señales bioquímicas, en todo el desarrollo de la simbiosis, lo cual permite reconocimiento del intercambio de nutrientes y la colonización. La simbiosis entre la especie y el hongo requiere un reconocimiento y armonización de procesos complejos en el espacio y en el tiempo, lo que conduce al establecimiento de esta relación.

Cuando las especies vegetales entran en contacto con los microorganismos presentes en el suelo, se desencadenan una serie de modificaciones fisiológicas y bioquímicas que no se manifiestan por completo cuando un HMA coloniza la especie. Esta observación respalda la hipótesis de que el hongo emite señales que son reconocidas por la especie, inhibiendo así la activación de una respuesta defensiva (Carlos et al., 2020).

### ***2.2.10 Reforestación***

Se trata de un conjunto de acciones que engloba la planificación, ejecución, control y supervisión de todos los procedimientos relacionados con la plantación de árboles. A partir de esta definición, la reforestación se configura como una práctica ecoambiental en la que se llevan a cabo diversas actividades planificadas con el objetivo de sembrar diversas variedades de plantas en especial las nativas. Este proceso tiene como finalidad repoblar áreas de terreno que han perdido su cubierta boscosa debido a diversas razones, convirtiendo el espacio en un hábitat propicio para albergar especies de fauna de las zonas circundantes. Además, contribuye de manera positiva a la conservación de las fuentes hídricas del territorio (Molina Pereira, 2019).

### 2.2.11 Índice de Shannon-Wiener

“El índice de Shannon-Wiener expresa la diversidad teniendo en cuenta el número de géneros y la abundancia de individuos dentro de cada uno de estos géneros” (Ganoudi et al., 2023, p. 4).

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

Donde:

$H$  = Índice de Shannon-Wiener

$S$  = Número total de especies en la comunidad

$P_i$  = Proporción de individuos que pertenecen a la especie  $i$  con respecto al total de individuos en la comunidad.

“Cuanto mayor sea el valor de  $H$ , mayor será la diversidad de especies, su empleo es muy común en estudios de biodiversidad donde se pretenda comparar la diversidad de una comunidad vegetal entre diferentes áreas geográficas o condiciones ambientales” (Ati et al., 2023, p. 10).

### 2.2.12 Índice de Equitatividad de Pielou

El estudio de Valdez et al. (2018) nos indica que, “mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes y 0 señala la ausencia de uniformidad” (p. 4).

$$J' = H' / \ln(S)$$

Donde:

$J'$  = Índice de Equitatividad de Pielou

$H'$  = Índice de Shannon-Wiener

$S$  = Número total de especies

### 2.3 Marco Legal

- Ley N°28611, Ley General del Ambiente, en su artículo 85 numeral 85.3 establece que la autoridad nacional ambiental, en coordinación con las autoridades sectoriales y descentralizadas, elabora y actualiza permanentemente el inventario de los recursos naturales y de los servicios ambientales, estableciendo su correspondiente valorización (MINAM, 2017).
- Decreto supremo N°012-2009-MINAM, Política Nacional del Ambiente, en su política 1 “Conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica”, tiene como uno de sus objetivos lograr la implementación de instrumentos de evaluación, valoración y financiamiento para la conservación de los recursos naturales, diversidad biológica y servicios ambientales en el país (MINAM, 2013).
- Decreto supremo N°009-2013-MINAGRI, Política Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, tiene por objetivo general contribuir con el desarrollo sostenible del país, a través de una adecuada gestión del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre de la Nación, que asegure su aprovechamiento sostenible, conservación, protección e incremento, para la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas forestales, otros ecosistemas de vegetación silvestre y de la fauna silvestre, en armonía con el interés social, cultural, económico y ambiental de la nación (MINAGRI, 2013).
- Ley N°29763, Ley forestal y de fauna silvestre, en su artículo 1 señala, que la ley tiene como meta promover la conservación, la protección, el incremento y el uso sostenible del patrimonio forestal, integrando su manejo con el mantenimiento y mejora de los servicios de los ecosistemas forestales, en armonía con el interés social, económico y ambiental de la nación. Y en su artículo 73 respecto al manejo de bosques andinos, el estado reconoce la vulnerabilidad de los ecosistemas de bosques andinos frente a los

efectos del cambio climático, por lo que proporciona su protección y recuperación como medio de mitigación y adaptación a estos cambios, así mismo promueve investigación y reforestación con fines de restauración ecológica o forestación en dichas zonas (MINAGRI, 2016).

- Decreto Supremo N°007-2016-MINAM, Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático. Principal mecanismo de administración dirigido a alcanzar los objetivos de disminución de la deforestación y, en términos generales, de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la tala y quema de bosques, busca fomentar e impulsar la aplicación de todas las alternativas de mitigación dentro del sector Forestal/USCUSS que estén identificadas como prioritarias para cumplir con la Contribución Nacional (MINAM, 2016).
- Ley 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos y su reglamento. Busca fomentar, regular y supervisar los sistemas de compensación por servicios ecosistémicos que surgen de acuerdos voluntarios, los cuales establecen acciones para la conservación, recuperación y uso sostenible, con el fin de garantizar la permanencia de los ecosistemas. Según el artículo 6 de la ley, un aspecto clave en el diseño de estos mecanismos es la valoración económica del servicio ecosistémico. La legislación destaca que los servicios ecosistémicos son considerados un patrimonio nacional (MINAM, 2014).



## CAPITULO III

### 3 Metodología

#### 3.1 Tipo de investigación.

El presente estudio es de tipo descriptiva, se comenzó con la extracción de muestras de suelo para luego identificar morfológicamente las especies de HMA, buscando generar nuevos conocimientos.

#### 3.2 Nivel de investigación.

El nivel de investigación es descriptiva-explicativa, ya que nos describe y explica la relación entre las especies de los HMA identificados en el suelo de 2 zonas del Bosques de Queñua en Cacayaco.

#### 3.3 Diseño de la investigación

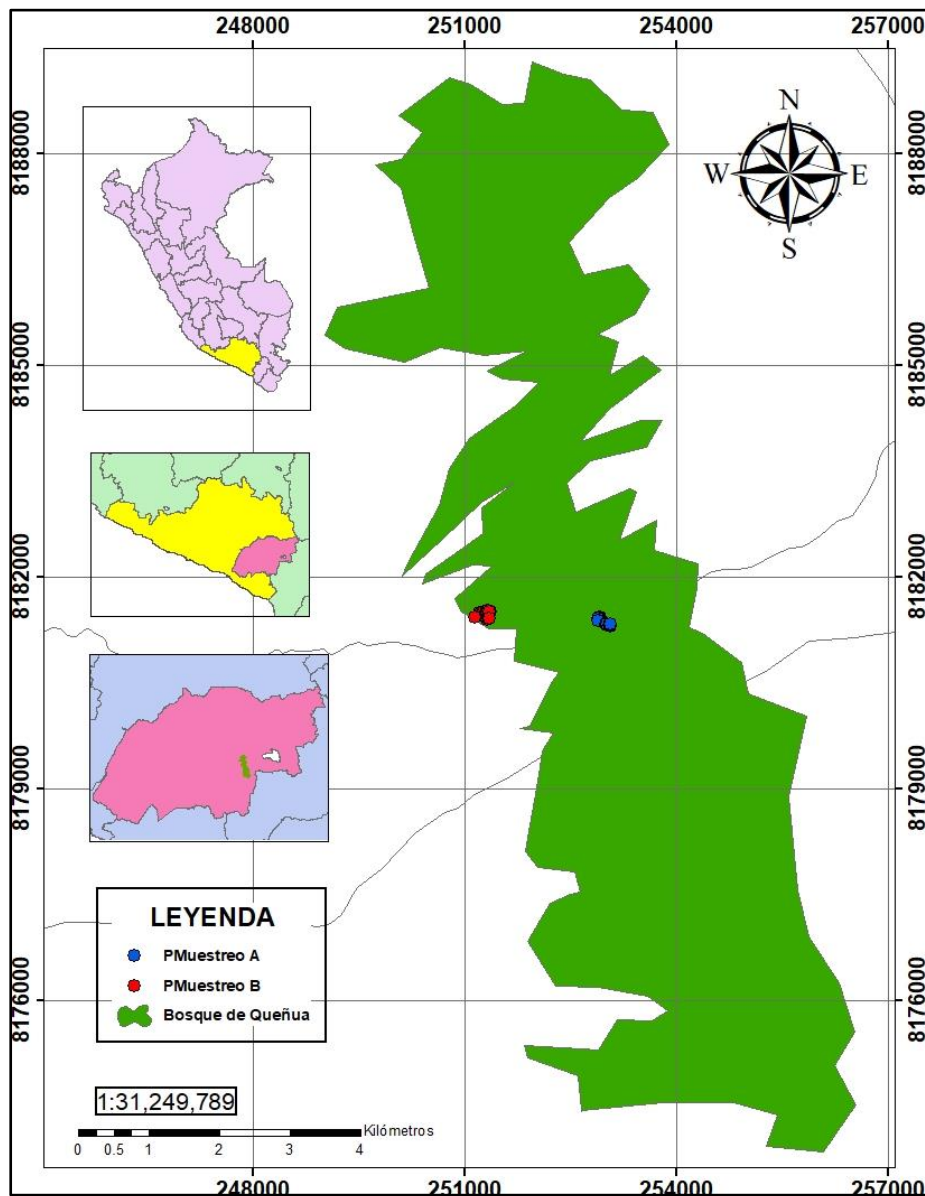
Para realizar esta investigación se empleó la metodología de reconocimiento e identificación en el laboratorio.

##### 3.3.1 Campo de verificación

La presente investigación se desarrolló en el Bosque de Queñua de Cacayaco, ubicado en el distrito de Chiguata, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa.

**Figura 1**

*Mapa del Bosque de Queñua con los puntos de muestreo*



*Nota.* Ubicación representativa de los puntos de muestreo establecidos para la recolección de suelo en el Bosque de Queñua.

### 3.3.2 *Materiales y equipos*

#### 3.3.2.1 *Materiales de Campo*

- Lampa
- Guantes
- Bolsas Ziploc

- Cooler
- Marcador

### **3.3.2.2 *Materiales de Laboratorio***

- Vaso de precipitación de 2000 ml
- Bagueta
- Colador
- Tamices de 600 um, 425 um, 106 um y 75 um
- Tubos de centrifuga 15 ml
- Gradilla
- Matraz Erlenmeyer 250ml
- Vasos de precipitación 250 ml
- Probeta 1 L
- Placas Petri
- Jeringas
- Porta objetos
- Cubre objetos
- Papel filtro
- Piscetas
- Fiola de vidrio volumétrica 250 ml
- Agenda de notas
- Lapicero
- Hojas bond
- Lápiz

### **3.3.2.3 *Reactivos***

- Ácido Láctico

- Glicerina Alcohol Polivinílico
- Iodo
- Iodo de Potasio
- Tricloroacetaldehído
- Agua destilada

#### **3.3.2.4 Equipos**

- Agitador magnético
- Estereoscopio
- Refrigeradora
- Centrifugadora
- Microscopio
- Micropipeta
- Balanza

### **3.3.3 Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos**

#### **3.3.3.1 Análisis Geoespacial**

Se utilizó imágenes satelitales para determinar las zonas accesibles para la toma de muestras y poder determinar la ruta de acceso.

#### **3.3.3.2 Análisis documental**

Se utilizó la técnica de análisis documental, con la cual se realizó la revisión y análisis de diversas investigaciones y trabajos previos que nos permitirán el reconocimiento e identificación a nivel de género de las esporas encontradas.

### 3.4 Métodos de la investigación

#### 3.4.1 Recolección de muestras de suelo del Bosque de Queñua, Cacayaco- Arequipa

Para la recolección de muestras se determinó puntos estratégicos del Bosque de Queñua, teniendo en cuenta las mejores condiciones y características fenológicas como el tamaño y el grado de marchitez, así como también la distribución de la especie *Polylepis rugulosa*.

Se seleccionó dos zonas del Bosque de Queñua a diferentes alturas, como se especifica en la tabla N.º 1, estas son la Zona A y la Zona B, se recolecto 20 muestras de suelos asociados a las especies de Queñua de cada zona, las coordenadas de los puntos de muestreo de la Zona A y B se especifican en la tabla N.º2 y en la tabla N.º3 respectivamente; haciendo uso de una pala se extrajo aproximadamente 1k por cada punto de muestreo, de una profundidad de 10 a 30 cm en la rizosfera de la especie, estas muestras se almacenaron en bolsas ziploc para posteriormente transportarlas en un cooler con bolsas de hielo, se mantuvo en refrigeración a unos 4 °C para su conservación en el laboratorio (Hernández & Monroy, 2017). Se puede visualizar la evidencia fotográfica en el Anexo 3.

**Tabla 1**

*Altura de las Zonas A y B*

Zonas	Altura (m.s.n.m.)
A	3805
B	3755

**Tabla 2***Coordenadas de Ubicación de los Puntos de Muestreos de la Zona A*

<b>Muestra</b>	<b>Coordenadas UTM (19K)</b>	
<b>A1</b>	252928	8181425
<b>A2</b>	252920	8181430
<b>A3</b>	252905	8181424
<b>A4</b>	252902	8181421
<b>A5</b>	252915	8181415
<b>A6</b>	252910	8181420
<b>A7</b>	252894	8181411
<b>A8</b>	252894	8181414
<b>A9</b>	252899	8181390
<b>A10</b>	252892	8181391
<b>A11</b>	253007	8181329
<b>A12</b>	253023	8181324
<b>A13</b>	253012	8181331
<b>A14</b>	253025	8181333
<b>A15</b>	253026	8131340
<b>A16</b>	253042	8181327
<b>A17</b>	253063	8181332
<b>A18</b>	253061	8181302
<b>A19</b>	253067	8181319
<b>A20</b>	253073	8181339

**Tabla 3***Coordenadas de Ubicación de los Puntos de Muestras de la Zona B*

<b>Muestra</b>	<b>Coordenadas UTM (19K)</b>	
<b>B1</b>	251208	8181492
<b>B2</b>	251214	8181497
<b>B3</b>	251248	8181497
<b>B4</b>	251222	8181480
<b>B5</b>	251225	8181475
<b>B6</b>	251242	8181470
<b>B7</b>	251248	8181497
<b>B8</b>	251275	8181508
<b>B9</b>	251300	8181504
<b>B10</b>	251316	8181523
<b>B11</b>	251315	8181496
<b>B12</b>	251329	8181515
<b>B13</b>	251340	8181525
<b>B14</b>	251369	8181503
<b>B15</b>	251356	8181494
<b>B16</b>	251354	8181503
<b>B17</b>	251146	8181435
<b>B18</b>	251315	8181404
<b>B19</b>	251342	8181412
<b>B20</b>	251354	8181417

### **3.4.2 Identificación morfológica de los HMA asociados a la Queñua (*Polylepis rugulosa*)**

#### **3.4.2.1 Extracción de esporas**

Las esporas se extrajeron con la técnica de tamizado y decantación en húmedo, en la cual se separó el suelo de las raíces que se encontró en las muestras, seguidamente se pesó 100 g de muestra de suelo y se colocó en un vaso de precipitado, al cual se le agregó 1 L de agua destilada, luego se agito durante 2 a 3 minutos y se esperó que la mezcla repose por unos minutos. La mezcla obtenida se tamizo por los tamices de 600  $\mu\text{m}$ , 425  $\mu\text{m}$ , 106  $\mu\text{m}$  y 75  $\mu\text{m}$ , para separar las esporas, lo que se obtuvo del tamiz de 75  $\mu\text{m}$  se colocó en un vaso de precipitación y se añadió agua destilada (Prieto et al., 2022).

Seguidamente, se centrifugo en gradiente de sacarosa al 20% y al 60% a 3000 RPM durante 3 minutos, el sobrenadante se vertió en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  para posteriormente verter en una placa Petri las esporas retenidas en el tamiz, para su posterior conteo, haciendo uso del estereoscopio (Prieto et al., 2022). Se puede visualizar la evidencia fotográfica en el Anexo 4.

#### **3.4.2.2 Montaje de esporas**

Las esporas que están en la placa Petri se separaron en grupos según su color y forma haciendo uso de una jeringa, con la misma se extrajeron las esporas y se procedió al montaje en un respectivo portaobjeto, donde se agregó una gota de reactivo PVLG (Alcohol Polivinílico Lactoglicerol) al lado izquierdo del portaobjeto y al lado derecho del mismo portaobjeto se le agregó una gota de PVLG + reactivo de Melzer (1:1), posteriormente se colocó un cubreobjetos en ambos grupos; una vez secos los portaobjetos se le agregó un esmalte para sellar los costados y no se salgan posteriormente las esporas (Chimal et al., 2018).

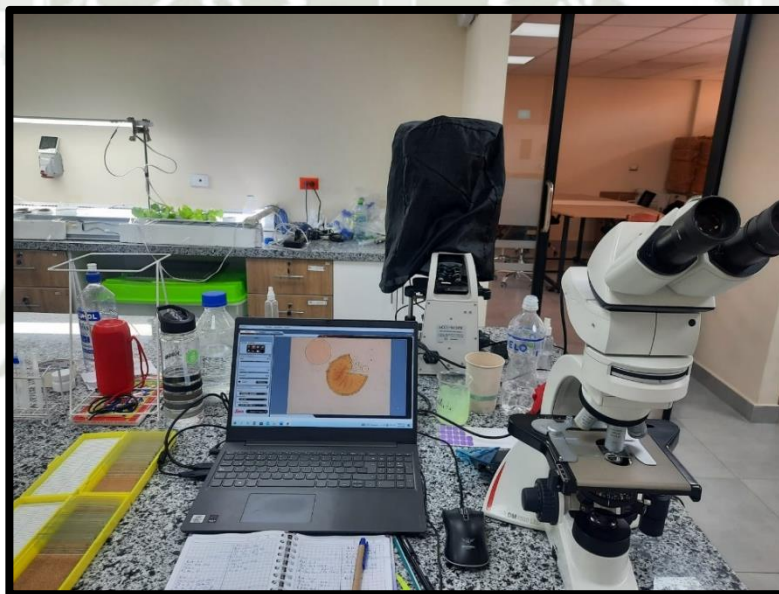
#### **3.4.2.3 Identificación morfológica de los HMA**

Para la identificación taxonómica de los HMA nos basamos fundamentalmente en la morfología de las esporas, por lo cual para la identificación morfológica de las esporas se hizo uso de un microscopio óptico, primeramente, se observó la espora intacta y posteriormente se

realizó un proceso de Splash, donde se apretó ligeramente el portaobjetos para que las esporas puedan romperse y así poder observar sus características internas como el número de capas, ornamentación, color, tamaño, etc. Con todos estos aspectos se comparó las esporas obtenidas con las especies que nos proporcionó el INVAM (International Collection of (Versicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi) (INVAM, 2016), así mismo se contó con la colaboración del Dr. Oscar Prieto Benavides como especialista en identificación de HMA, habiendo realizado diferentes estudios de investigación relacionados con la identificación de HMA.

### **Figura 2**

*Uso del microscopio para la identificación morfológica de los HMA*



#### ***3.4.3 Determinación del potencial de los HMA como estimuladores de crecimiento de las especies vegetales para fines de reforestación.***

A través de una búsqueda bibliográfica de los géneros de los Hongos Micorrízicos Arbusculares identificados en la caracterización morfológica y su aplicación en reforestación de otras especies vegetales, se evaluó su compatibilidad con la Queñua y sus características de crecimiento, para determinar si dichos géneros de HMA podrían tener una futura aplicación en reforestación en los Bosques de Queñua (Outamamat et al., 2022).



## CAPITULO IV

## 4 RESULTADO Y DISCUSIÓN

### 4.1 Recolección de muestras de suelo del Bosque de Queñua, Cacayaco- Arequipa

Se obtuvo satisfactoriamente las 20 muestras de suelo en la Zona A, a la altura de 3805 m.s.n.m y las 20 muestras de la Zona B, a la altura de 3755 m.s.n.m. se tomaron los puntos de muestreo haciendo uso de un dispositivo GPS, el recorrido desde Chiguata hasta llegar a los Bosques de Queñua, nos empleó un tiempo aproximado de 1h y media.

#### Figura 3

*Bosque de Queñua*



#### Figura 4

*Altura de la Zona A*

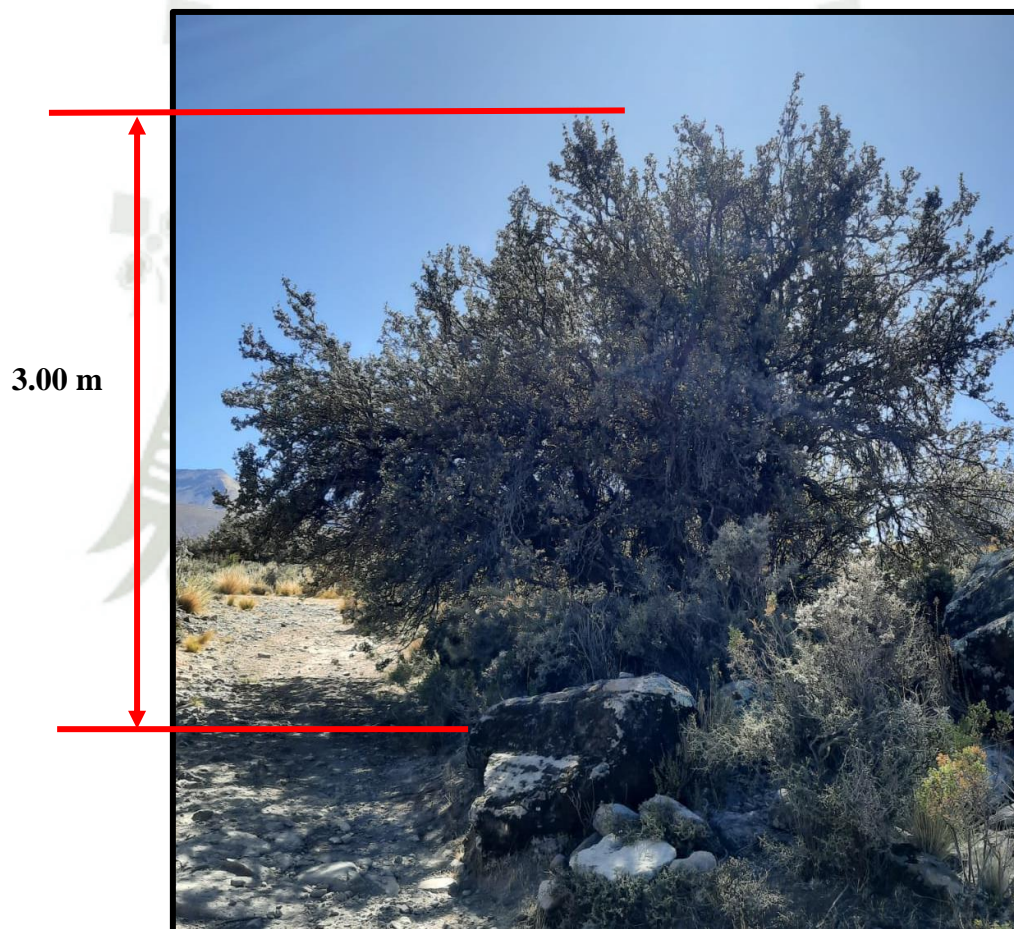


#### 4.1.1 Caracterización de la *Polylepis*

Se tuvo en cuenta las características fenológicas de la *Polylepis*, mediante la observación de campo se eligieron arboles con tamaños entre 3 y 5 metros de altura y con un grado de marchitez bajo.

#### Figura 5

*Altura de la Polylepis*

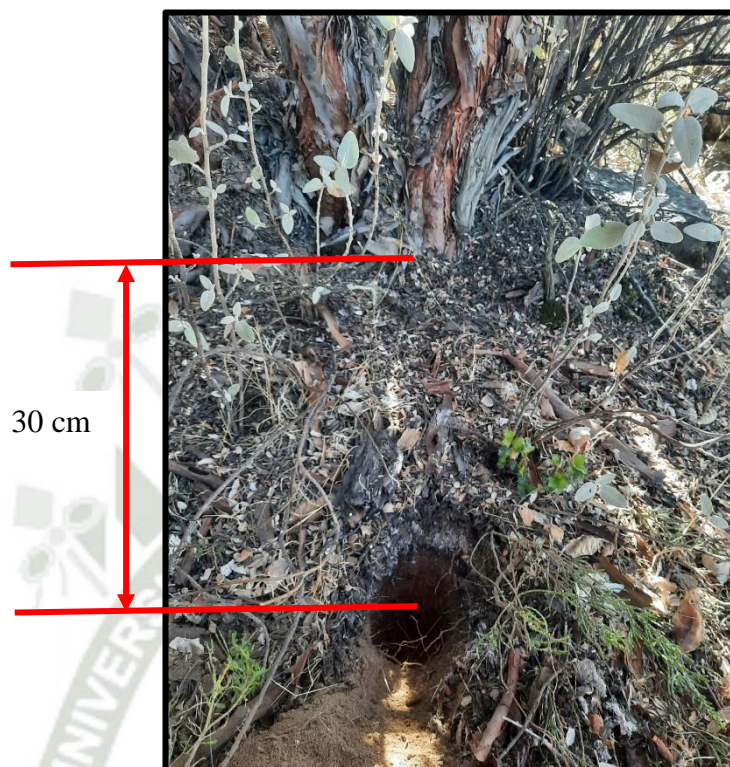


#### 4.1.2 Profundidad de muestreo

El punto que se escogió para extraer la muestra se tomó aproximadamente a unos 30 cm del tronco a nivel del suelo de la *Polylepis*, las muestras se extrajeron entre una profundidad de 10 a 30 cm

**Figura 6**

*Distancia del tronco de la Polylepis al punto de muestreo*



**Figura 7**

*Profundidad de muestreo*



### 4.1.3 *Tamaño de la muestra*

Se extrajo 1 k de muestra por punto de muestreo, se tuvo en cuenta que las muestras extraídas tengan raíces y se evitó colocar piedras demasiado grandes; las diferentes muestras se introdujeron en bolsas ziploc y se rotuló con plumón indeleble.

#### **Figura 8**

*Muestra con raíces*



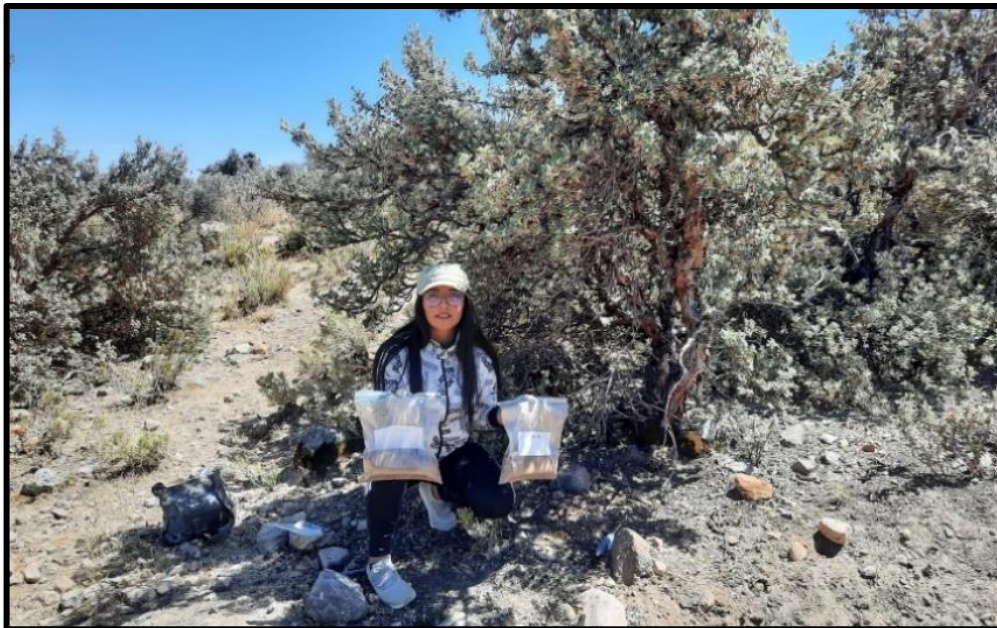
#### **Figura 9**

*Rotulación de la muestra N° 1 de la Zona A*



**Figura 10**

*Obtención de la muestra*



#### **4.1.4 Transporte y acondicionamiento de las muestras**

Las muestras obtenidas se almacenaron y se transportaron en un cooler con bolsas de hielo (Gel pack), se mantuvieron en refrigeración a unos 4 °C para su conservación en el laboratorio del Pabellón E de la Universidad Católica de Santa María.

**Figura 11**

*Conservación de las muestras de suelo de la Zona A y Zona B*



## 4.2 Identificación morfológica de los HMA asociados a la Queñua (*Polylepis rugulosa*)

### 4.2.1 Densidad de especies de HMA (Número de especies por cada 100 g de suelo (vivas/muertas))

**Tabla 4**

*Numero de Esporas de HMA (vivas/muertas) en 100 g de suelo*

N° Muestras	Zona A	Zona B
M1	632	1374
M2	608	1286
M3	990	1716
M4	684	690
M5	888	676
M6	1160	1130
M7	626	896
M8	1580	1494
M9	364	1586
M10	372	1668
M11	384	736
M12	1436	718
M13	396	2184
M14	236	634
M15	644	848
M16	830	856
M17	654	1030
M18	904	524
M19	1332	792
M20	718	448
<b>Total</b>	<b>15438</b>	<b>21286</b>

En la Tabla N°4 se especifica el número de esporas vivas y muertas en 100 g de suelo, de las diferentes muestras obtenidas de la zona A y la zona B, así como el total de esporas de ambas

zonas, teniendo un total de 15438 esporas en la zona A y 21286 esporas en la zona B, este resultado es sumamente diferente a los resultados obtenidos en el estudio de Mendoza Delgado (2021), que se realizó en el Bosque Noé Morán en Ecuador, en el cual se tomaron las muestras de cuatro especies forestales distintas, donde se obtuvieron un total de 174 esporas en la especie forestal *Guazuna ulmifolia*; 162 esporas en la especie *Eugenia pustulescens*; 151 esporas en la especie *Albizia guachapele* y 133 esporas en la especie *Cecropia peltata*; esta diferencia que podemos apreciar se puede deber a que los Bosques de Queñua están hasta un cierto punto en menos contacto con los seres humanos debido a la altura a la que se encuentra.

#### 4.2.2 Identificación morfológica de los HMA

En las muestras que se recolectó, de la Zona A y la Zona B del Bosque de Queñua se identificó en total 41 especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares, estas diferentes especies pertenecen a 9 géneros y a 5 familias; el género *Acaulospora* corresponde a la familia Acaulosporaceae; el género *Diversispora* pertenece a la familia Diversisporaceae; el género *Claroideoglossum* integra la familia Claroideoglomeceae; el género *Dentiscutata*, *Racocetra* y *Scutellospora* pertenecen a la familia Gigasporaceae y los géneros *Funneliformis*, *Glomus* y *Rhizophagus* están incluidos en la familia Glomeraceae, como se especifica en la Tabla N°5.

De las 41 especies de HMA identificadas entre la zona A y la zona B, solo se tienen 29 especies de HMA en la zona A y 26 especies de HMA en la zona B; la zona A y la zona B comparten un total de 14 especies de HMA en común; de las 29 especies encontradas en la zona A se determinó que 15 especies se encontraron solo en esta zona y no en la zona B; de las 26 especies encontradas en la zona B se determinó que 12 especies se encontraron solo en esta zona y no en la zona A.

A su vez esta tabla nos indica que la mayor riqueza de especies la tiene la Zona A con solo 29 especies de HMA y a la vez tiene la menor abundancia con 190 esporas, caso contrario

tenemos a la Zona B la cual tiene menor riqueza de especies con un total de 26 especies de HMA y una mayor abundancia con 307 esporas identificadas.

Para la identificación taxonómica de las diferentes especies de HMA que se obtuvieron en la caracterización nos basamos en el INVAM, todas las identificaciones fueron validadas por el Dr. Oscar Prieto y el Dr. Sidney Sturmer.

**Tabla 5**

*Especies de HMA y número de esporas identificados en el Bosque de Queñua.*

Familia	Género	Especie	Zona A	Zona B
		<i>Acaulospora bireticulata</i>	5	-
		<i>Acaulospora capsicula</i>	-	1
		<i>Acaulospora colombiana</i>	26	14
		<i>Acaulospora denticulata</i>	22	19
		<i>Acaulospora elegans</i>	-	1
		<i>Acaulospora foveata</i>	2	-
		<i>Acaulospora kentinensis</i>	41	78
		<i>Acaulospora koskei</i>	1	-
<b>Acaulosporaceae</b>	<b><i>Acaulospora</i></b>	<i>Acaulospora laevis</i>	-	1
		<i>Acaulospora mellea</i>	1	-
		<i>Acaulospora morrowiae</i>	1	3
		<i>Acaulospora rehmii</i>	3	12
		<i>Acaulospora</i> sp.	-	66
		<i>Acaulospora</i> sp1	9	-
		<i>Acaulospora</i> sp2	3	3
		<i>Acaulospora</i> sp3	5	-
		<i>Acaulospora sporocarpia</i>	1	-
<b>Diversisporaceae</b>	<b><i>Diversispora</i></b>	<i>Diversispora globifera</i>	1	-
		<i>Claroideoglo mus claroideum</i>	2	-
		<i>Claroideoglo mus etunicatum</i>	6	1
<b>Claroideoglo mus</b>	<b><i>Claroideoglo mus</i></b>	<i>Claroideoglo mus lamellosum</i>	4	8
		<i>Claroideoglo mus lateum</i>	-	1
		<i>Claroideoglo mus</i> sp.	-	1
		<i>Claroideoglo mus</i> sp1	1	8
<b>Gigasporaceae</b>	<b><i>Dentiscutata</i></b>	<i>Dentiscutata heterogama</i>	-	1
	<b><i>Racocetra</i></b>	<i>Racocetra coralloidea</i>	1	-

		<i>Racocetra verrucosa</i>	2	-
	<b>Scutellospora</b>	<i>Scutellospora calospora</i>	-	3
	<b>Funneliformis</b>	<i>Funneliformis mosseae</i>	-	1
		<i>Glomus fistulosum</i>	1	-
		<i>Glomus hoy</i>	1	-
		<i>Glomus pansihalos</i>	1	2
		<i>Glomus sp3</i>	2	1
	<b>Glomus</b>	<i>Glomus sp.</i>	-	20
<b>Glomeraceae</b>		<i>Glomus sp1</i>	6	2
		<i>Glomus sp2</i>	19	34
		<i>Glomus sp4</i>	-	2
		<i>Glomus sp5</i>	-	2
		<i>Rhizophagus aggregatus</i>	1	-
	<b>Rhizophagus</b>	<i>Rhizophagus clarus</i>	5	-
		<i>Rhizophagus intraradices</i>	17	22
<b>Número Total de Géneros de HMA</b>		<b>9</b>		
<b>Número Total de Especies de HMA, entre la zona A y B</b>		<b>41</b>		
<b>Número Total de esporas por zona</b>			<b>190</b>	<b>307</b>

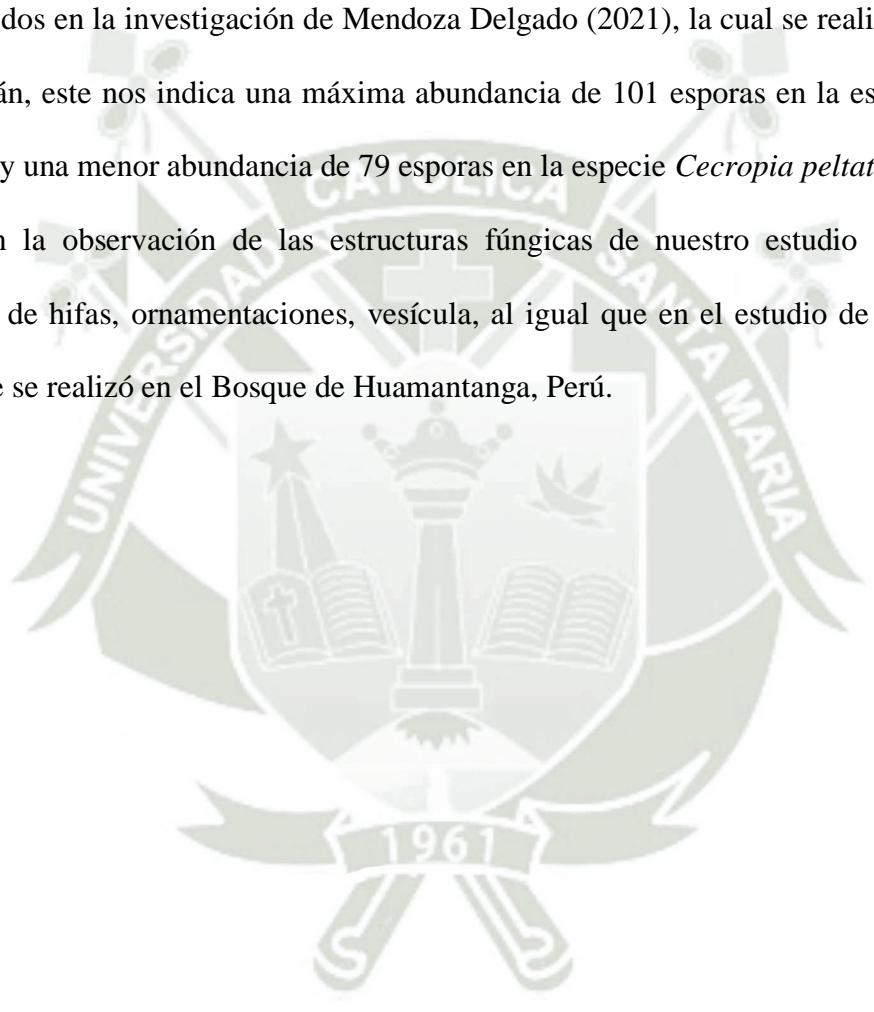
*Nota.* Especies de HMA con sus respectivas familias, géneros y número de esporas identificadas y cuantificadas en la zona A y la zona B del Bosque de Queñua.

En la investigación realizada por Arteaga et al. (2020) en el Bosque de Huamantanga en Perú, se identificaron 3 géneros los cuales corresponden a *Glomus*, *Entrophospora* y *Acaulospora*, teniendo en común con nuestro estudio al género *Acaulospora* y *Glomus*. En otro estudio realizado en la región de San Martín, se logró identificar 32 especies de HMA siendo este resultado menor al de nuestro estudio y teniendo una menor riqueza de especies, a su vez se identificaron 12 géneros, teniendo en similitud con nuestro estudio a los géneros *Acaulospora*, *Glomus*, *Claroideoglomus*, *Diversispora* y *Funneliformis* (Acosta Córdova, 2021); en el estudio de Arteaga Alejandría (2019), se identificaron 33 especies de HMA teniendo este estudio una menor riqueza de especies que nuestra investigación, los géneros en común con

nuestro estudio fueron los géneros *Acaulospora*, *Glomus*, *Claroideoglomus*, *Diversispora* y *Funneliformis*. En estas diferentes investigaciones realizadas en Perú podemos concluir que los géneros en común son *Acaulospra* y *Glomus*, con lo cual podríamos inferir que son los géneros más comunes en los Bosques de Queñua en Perú.





Referido a los resultados obtenidos en abundancia, nuestros resultados son diferentes a los obtenidos en la investigación de Mendoza Delgado (2021), la cual se realizó en el Bosque Noé Morán, este nos indica una máxima abundancia de 101 esporas en la especie *Guazuma ulmifolia* y una menor abundancia de 79 esporas en la especie *Cecropia peltata*.

En la observación de las estructuras fúngicas de nuestro estudio se evidencio la presencia de hifas, ornamentaciones, vesícula, al igual que en el estudio de (Arteaga et al., 2020) que se realizó en el Bosque de Huamantanga, Perú.



**Tabla 6**

*Número de Especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares identificados en mayor cantidad*

	
<p><i>Acaulospora kentinensis</i> N°: 119 Zona A: 41 / Zona B: 78</p>	<p><i>Acaulospora</i> sp N°: 66 Zona B: 66</p>
	
<p><i>Glomus</i> sp2 N°: 53 Zona A: 19 / Zona B: 34</p>	<p><i>Acaulospora denticulata</i> N°: 41 Zona A: 22 / Zona B: 19</p>



*Acaulospora colombiana*  
N°: 40  
Zona A: 26 / Zona B: 14



*Rhizophagus intraradices*  
N°: 39  
Zona A: 17 / Zona B: 22



*Glomus* sp.  
N°: 20  
Zona B: 20

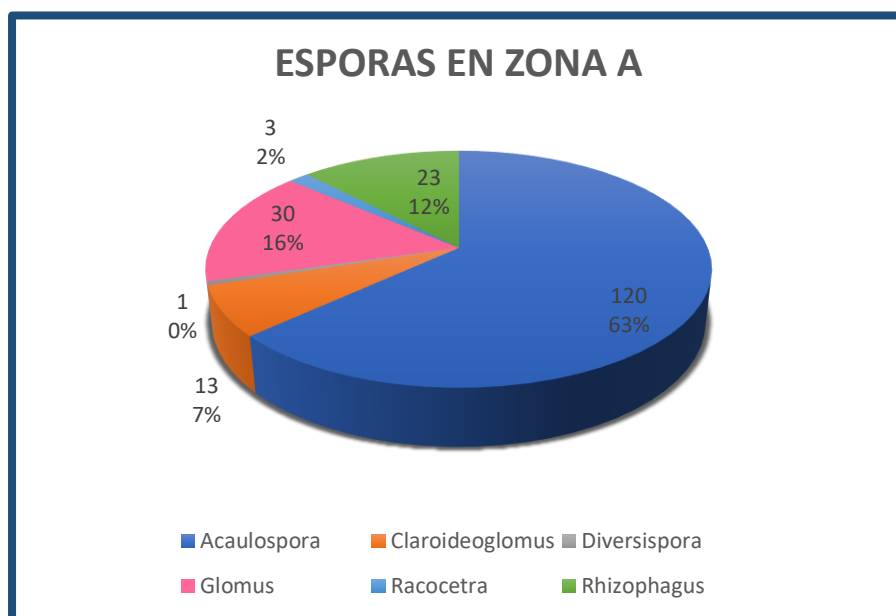


*Acaulospora rehmsii*  
N°: 15  
Zona A: 3 / Zona B: 12

La Tabla 6 nos brinda las imágenes de las especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares que se identificaron en mayor cantidad en el Bosque de Queñua; la especie que se identificó en mayor cantidad fue *Acaulospora kentinensis* con un total de 119, esta especie se encontró en mayor cantidad en la zona B con un total de 78 y una menor cantidad en la Zona A con 41; sucesivamente la segunda especie que se encontró en mayor cantidad fue *Acaulospora* sp. con un total de 66, siendo esta identificada solo en la zona B, no se determinó exactamente que especie es, pero pertenece al género *Acaulospora*; la tercera especie en mayor cantidad fue *Glomus* sp2 con un total de 53, siendo más abundante en la zona B; seguidamente tenemos a la especie *Acaulospora denticulata* con un total de 41, identificándose en mayor cantidad en la zona A; en quinto lugar encontramos a la especies *Acaulospora* colombiana con una cantidad de 40, siendo más abundante en la zona A; a continuación esta *Rhizophagus intraradices* con un total de 39, encontrándose en mayor cantidad en la zona B; seguidamente tenemos a *Glomus* sp. con un número de 20, encontrándose solamente en la zona B; por ultimo tenemos a *Acaulospora rehmii* con un total de 15, esta especie se identificó en su mayoría en la zona B. Las demás especies identificadas se pueden observar en el Anexo 2, estas no fueron consideradas en la Tabla 6 debido a que su número no excedían las 15 unidades

**Figura 12**

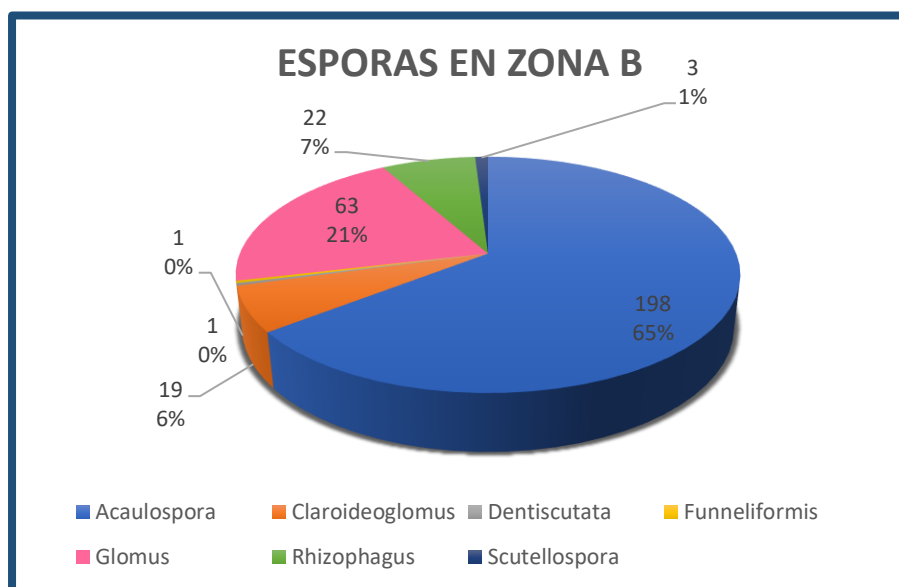
Gráfica del número de esporas de los géneros de HMA identificados en la Zona A



En la Figura 12 se tiene el gráfico del número de esporas identificados en la zona A, a su vez nos muestra los diversos valores en porcentaje de los seis géneros identificados. El género *Acaulospora* tiene 120 esporas, en cual representa el 63 % del total de esporas identificadas en la zona A; el segundo género es *Glomus* con 30 esporas identificadas, este representa un 30%; *Rhizophagus* tiene 23 esporas y representa el 12% del total de 190 esporas; *Claroideoglomus* presenta 13 esporas identificadas, las cuales son el 7 %; el género *Racocetra* tiene 3 esporas y por último *Diversispora* solo tiene 1 espora identificada.

**Figura 13**

Gráfica del número de esporas de los géneros de HMA identificados en la Zona B



En la Figura 13 se tiene el gráfico del número de esporas por género identificados en la zona B, a su vez nos muestra los diversos valores en porcentaje de los siete géneros identificados. El género *Acaulospora* tiene 198 esporas, en cual representa el 65 % del total de esporas identificadas en la zona B; el segundo género es *Glomus* con 63 esporas identificadas, este representa un 21%; *Rhizophagus* tiene 22 esporas y representa el 7% del total de 307 esporas; *Claroideoglosum* presenta 19 esporas identificadas, las cuales son el 6 %; el género *Scutellospora* tiene 3 esporas; los géneros *Funneliformis* y *Dentiscutata* presentan cada una solo una espora identificada.

En la zona B se obtuvo un mayor porcentaje de números de esporas siendo este valor 307 a diferencia de la zona A donde se tiene como resultado 190 esporas, así mismo en la zona B se identificaron 7 géneros de HMA, siendo este uno más a diferencia de la zona A donde se identificó 6 géneros de HMA.

Los géneros que se encuentran en mayor cantidad tanto en el gráfico de la zona A y el gráfico de la zona B son *Acaulospora* y *Glomus*; en el estudio de (Santillana & Toro, 2018),

realizado en los Pastizales de Ccarhuaccpampa- Ayacucho, los géneros que se encontraron en mayor cantidad fueron *Glomus* (69 %) y *Acaulospora* (25 %), siendo el género *Glomus* el de mayor porcentaje y *Acaulospora* el de menor porcentaje, a diferencia de nuestro estudio, donde *Acaulospora* tiene un mayor porcentaje y *Glomus* un menor porcentaje de número de esporas.

#### 4.2.3 Determinación de Índices de Diversidad

El índice de Shannon-Wiener y el índice de Equitatividad de Pielou, son los índices más utilizados en los diferentes estudios de hongos micorrízicos arbusculares (Ganoudi et al., 2023), por lo cual fueron los empleados para realizar nuestro estudio.

**Tabla 7**

*Índice de Shannon-Wiener de la Zona A y la Zona B*

Zonas	Índice de Shannon-Wiener (H')
A	2.657
B	2.354

El Índice de Shannon-Wiener nos indicara la diversidad de especies de una comunidad, si existe una baja, media o alta diversidad de especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares en cada una de las zonas estudiadas.

A la vez este índice mide el grado promedio de incertidumbre para predecir la especie a la que pertenece un individuo tomado al azar de las unidades de muestreo (Reyes et al., 2022); si se obtiene una baja diversidad, la incertidumbre de predicción es baja, lo más probable es que una especie muestreada aleatoriamente sea la especie dominante; sin embargo, si la diversidad es alta, la incertidumbre de predicción es alta.

En la Tabla 7 se especifican los resultados obtenidos en la zona A donde el índice de Shannon ( $H'$ ) es de 2.657 y el índice de Shannon de la zona B es de 2.354, estos datos nos indican que se tiene una diversidad media de especie, debido a que se encuentra entre el rango de 2 y 3.5; estos resultados son parecidos a los resultados obtenidos en el estudio de (Ruiz, 2020), en el cual se trabajó en 3 sitios con diferente estado de conservación, en el Bosque conservado se tuvo un índice de Shannon de 2.304, en el Bosque secundario se obtuvo un resultado de 2.071, y en la zona de Zacatonal se obtuvo un valor de 1.771, este último valor difiere de los demás resultados y nos indica que la zona presenta una diversidad baja de HMA, debido a que se encuentra por debajo del valor de 2. Los cálculos correspondientes para la determinación del índice de Shannon-Wiener de la Zona A y Zona B se pueden revisar en el Anexo 1.

**Tabla 8**

*Índice de Equitatividad de Pielou de la Zona A y la Zona B*

Zonas	Índice de Equitatividad de Pielou
A	0.789
B	0.723

El índice de Equitatividad de Pielou nos indica si la comunidad es equitativa o no es equitativa referido a las especies, en nuestros resultados obtenidos nos indica que es una comunidad equitativa debido a que se encuentra cercanos al 1, con lo cual nos infiere que existe una baja diferencia entre las abundancias de las especies más y menos comunes (Barona, 2021).

La Tabla 8 nos brinda los resultados obtenidos del índice de equitatividad de Pielou, en la zona A fue de 0.789 y en la zona B fue de 0.723, ambos valores al encontrarse más cercanos al valor de 1 nos indica que todas las especies del área de estudio de ambas zonas son igualmente abundantes; los resultados del estudio de (Chávez et al., 2021) fueron obtenidos del

Bosque templado de pino-encino en México, su valor obtenido difiere de nuestro resultado, siendo igual a 0.42 para *S. salignus* el cual nos indica que las especies de HMA no son igualmente abundantes y 0.86 para *S. oxypetalum* el cual nos indica que las especies son igualmente abundantes, estos resultados podrían relacionarse con la acidez del suelo, debido a que estos hongos están brindando a sus hospedantes mayor tolerancia a pHs ácidos.

En la investigación de Ruiz (2020), se obtuvo resultados similares a nuestro estudio, esta investigación se realizó en 3 sitios diferentes, en el Bosque conservado se tuvo un índice de Equitatividad de Pielou de 0.81, en el Bosque secundario se obtuvo un resultado de 0.76 y en la zona de Zacatonal se obtuvo un valor de 0.67, todos estos valores nos indican que todas las especies son igualmente abundantes.

En nuestro estudio, la especie *Acaulospora kentinensis*, *Acaulospora* sp. y *Glomus* sp2 son las especies que se encuentran en mayor cantidad, este podría ser un indicativo de que estas especies podrían ser las más adecuadas para ser utilizadas en una futura reforestación siendo inoculadas en la especie *Polylepis rugulosa*, pero la cantidad no es suficiente para determinar ello, por lo cual es recomendable hacer uso de un Índice de Valor de Importancia, con lo cual se determinara la importancia de las especies, y con ello se podrá escoger la especie o el género más adecuado para utilizarlas en una futura reforestación.

#### **4.3 Determinación del potencial de los HMA como estimuladores de crecimiento de las especies vegetales para fines de reforestación.**

Mediante la revisión bibliográfica realizada, se determinó que el género *Acaulospora* y la especie *Claroideoglomus etunicatum*, aumentan el potencial hídrico (Oliveira et al., 2023); así mismo los géneros que mejoran la capacidad de absorción de nutrientes en las diferentes especies vegetales fueron los géneros *Acaulospora* y *Glomus*, al igual que las especies *Claroideoglomus etunicatum* y *Rhizophagus clarus*, donde se obtuvo el aumento de los niveles

de nitrógeno, fosforo y potasio (Oliveira et al., 2023); el género *Glomus* también aumentó los niveles de calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Outamamat et al., 2022).

Los géneros *Acaulospora*, *Glomus* y las especies *Claroideoglosum etunicatum*, *Rhizophagus clarus* y *Funneliformis mosseae*, aumentaron la biomasa de las especies vegetales, mayor diámetro de tallo, mayor diámetro de la raíz (Oliveira et al., 2023), así como también se vio una mejora en la altura de las especies (Fernandes et al., 2021).

Finalmente, mediante la información bibliográfica obtenida se determinó que el género *Glomus* y las especies *Funneliformis mosseae* y *Rhizophagus clarus*, mejoran la eficiencia de la fotosíntesis con un aumento significativo de la clorofila.

Cabe resaltar que las especies detalladas en la Tabla 9, de las cuales nos brinda información la revisión bibliográfica fueron identificadas en nuestro estudio en el Bosque de *Polylepis*.

**Tabla 9**

*Determinación de las características de crecimiento en las especies vegetales mediante la inoculación con HMA*

Género	Especie Vegetal	Capacidad para absorber agua	Capacidad de absorción de nutrientes	Aumento del crecimiento	Mejora de la fotosíntesis
<i>Acaulospora</i>	<i>Cenostigma microphyllum</i> (Oliveira et al., 2023).	Aumento del potencial hídrico (Oliveira et al., 2023).	Mayor contenido de nitrógeno, fosforo y potasio (Oliveira et al., 2023).	Aumento de biomasa en un 20%, mayor altura, mayor diámetro de tallo y mayor diámetro de raíz. (Oliveira et al., 2023).	-----
<i>Diversispora</i>	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Claroideoglosum</i>	<i>Cenostigma microphyllum</i> (Oliveira et al., 2023). (Especie: <i>Claroideoglosum etunicatum</i> )	Aumento del potencial hídrico (Oliveira et al., 2023).	Mayor contenido de nitrógeno, fosforo y potasio (Oliveira et al., 2023).	Aumento de biomasa en un 20%, mayor altura, mayor diámetro de tallo y mayor diámetro de raíz.	-----

				(Oliveira et al., 2023).	
<i>Dentiscutata</i>	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Racocetra</i>	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Scutellospora</i>	-----	-----	-----	-----	-----
<i>Funneliformis</i> (Especie: <i>Funneliformis mosseae</i> )	Maize (He et al., 2020).	-----	-----	La altura mejoro significativamen te, se tuvo un aumento de biomasa (He et al., 2020).	Los contenidos de clorofila a y clorofila b en las hojas de maíz aumentaron significativame nte (He et al., 2020).
<i>Glomus</i>	El algarrobo ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.) (Outamamat et al., 2022).	-----	Aumento en niveles de potasio (K) y calcio (Ca), magnesio (Mg), La nutrición de Fosfato fue significativame nte mayor (Outamamat et al., 2022).	Mejora importante en la altura (más del 24%). (Outama mat et al., 2022).	Aumento significativo de clorofila (Outamamat et al., 2022).
<i>Rhizophagus</i> (Especie: <i>Rhizophagus Clarus</i> )	a) <i>Schinus terebinthifolius</i> b) <i>Caesalpinia férrea</i> (Marques et al., 2021).	-----	Aumento de nitrógeno (Marques et al., 2021).	Aumento de altura, biomasa (Marques et al., 2021).	Fotosíntesis con mayor eficiencia (Marques et al., 2021).

En los diferentes estudios revisados se determinó que el género *Acaulospora* y la especie *Claroideoglomus etunicatum*, mejoran la capacidad para absorber el agua, esto gracias a la ayuda de las estructuras de HMA, las cuales alcanzan mayores extensiones en el suelo y mayor absorción hídrica, promoviendo un mejor rendimiento de las especies a través de un mayor potencial hídrico y conductancia estomática de las hojas (Oliveira et al., 2023), lo cual es interesante para la especie con la cual trabajamos, debido a que la *Polylepis rugulosa* nos brinda

el servicio ecosistémico de regulación de almacenamiento de agua, con ello estos bosques funcionan como depósitos de agua (Jururo Quispe, 2018), por lo tanto mediante la inoculación de estos géneros, la *Polylepis rugulosa* podría absorber una mayor cantidad de recurso hídrico para su crecimiento.

Los HMA aumentan el contenido de clorofila, con lo cual la fisiología fotosintética de las hojas y la biomasa vegetal mejora, así mismo se evidencia un aumento significativo en la altura de la especie (He et al., 2020). La absorción de nutrientes como N, Mg y K son esenciales para la estructura de las clorofilas, por ejemplo, el nitrógeno es necesario para la síntesis de clorofila y la participación en el proceso de fotosíntesis; por lo tanto, los aumentos de N en la especie dan como resultado una mayor cantidad de clorofila, lo que aumenta la interceptación de la radiación solar para energía y mejora la absorción de nutrientes (Fernandes et al., 2021). Las hojas han demostrado ser claves para controlar la adquisición de carbono, la pérdida de agua y el ciclo interno de nutrientes en árboles (Ding et al., 2023).

La *Polylepis* al crecer en zonas altoandinas, ha desarrollado una gran tolerancia a las condiciones ambientales extremas como las bajas temperaturas, a su vez este factor origina condiciones desfavorables para el suelo, lo cual limita la descomposición de la materia orgánica (hojarasca) y la absorción de nutrientes, en especial del nitrógeno y fósforo, lo cual puede ser uno de los factores limitantes del crecimiento de las plantas (Trevizan & Aguilar, 2019); la materia orgánica en el Bosque de Queñua es abundante, esta hojarasca es un buen soporte de materia prima, lo cual ayudaría a que los HMA prosperen en el Bosque de Queñua, a su vez la *Polylepis* aprovecharía los beneficios que le otorgan los HMA.

Con la investigación también se concluyó que los géneros *Acaulospora* y *Glomus*, podrían ser los más adecuados para una futura reforestación, debido a que en la caracterización de HMA, fueron los géneros que se encontraron en mayor cantidad, lo que nos indica su alta compatibilidad con el suelo del Bosque de Queñua; también debido a los diferentes beneficios

que brindan en las características de crecimiento de las especies vegetales, lo cual se especifica en las diferentes investigaciones de Outamamat et al. (2022) y Oliveira et al. (2023).





## 5 CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Se lograron identificar morfológicamente 41 especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares en el Bosque de Queñua, estas diferentes especies pertenecen al género *Acaulospora*, *Diversispora*, *Claroideoglopus*, *Dentiscutata*, *Racocetra*, *Scutellospora*, *Funneliformis*, *Glomus* y *Rhizophagus*; las cuales pertenecen a 5 familias siendo estas Acaulosporaceae, Diversisporaceae, Claroideoglomeceae, Gigasporaceae y Glomeraceae.

**SEGUNDO:** *Acaulospora* y *Glomus* son los géneros que se identificaron en mayor cantidad, con lo cual podríamos indicar que son los géneros que tienen una mayor compatibilidad con el suelo del Bosque de Queñua, a su vez las diferentes investigaciones avalan que los Hongos Micorrízicos Arbusculares favorecen al crecimiento de especies forestales y podrían ser utilizados en futuras reforestaciones relacionados a la especie *Polylepis rugulosa*.

**TERCERO:** Este estudio es el primero que se realiza en el Bosque de Queñua de Cacayaco en Arequipa, esta investigación nos brinda datos de confiabilidad, debido a que las identificaciones taxonómicas fueron validadas por especialistas con reconocimiento en investigaciones relacionadas a la caracterización de HMA.

## 6 RECOMENDACIONES

- Realizar la extracción de muestras en dos temporadas del año, temporada seca y en temporada húmeda, para determinar en cual se encuentra una mayor densidad de esporas de HMA y una mayor diversidad de especies de HMA.
- Realizar estudios acerca de las asociaciones de especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares las cuales tengan compatibilidad con las características de crecimiento de la especie *Polylepis rugulosa* para poder inocularlos en una futura reforestación del Bosque de *Polylepis*.
- Aplicar el Índice de Valor de Importancia, para determinar el mayor valor de importancia de las especies identificadas de HMA, para así poder determinar si los resultados respaldan la propuesta del uso de los géneros de *Acaulospora* y *Glomus* en el uso de reforestación.
- Solicitar apoyo y motivar a las diferentes Instituciones públicas y privadas a participar y financiar proyectos relacionados con el área de conservación y manejo de los Bosque de *Polylepis*.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Córdova, R. (2021). *Estudio de la diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en el cultivo de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.), en la región San Martín* [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO].  
<https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4124/1/AGRONOM%C3%8DA%20-%20Ronny%20Anthony%20Acosta%20C%C3%B3rdova.pdf>
- Acosta Peñaloza, D. (2019). *APLICACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA CON FINES DE REFORESTACIÓN* [Tesis de Maestría, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS].  
<http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/713/AOPDXN05T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aguilar Aguilar, F. (2022). *PLANTAS CON POTENCIAL USO PARA LA REFORESTACIÓN MEDIANTE LA MEDICIÓN DE RASGOS FUNCIONALES EN BORDES DE AVANCE DEL BOSQUE DE Polylepis* [Tesis de Maestría, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA].  
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bad2d3a5-729e-40ba-9318-986c7ffa5d34/content>
- Arteaga Alejandría, E. (2019). *Identificación de la diversidad y colonización de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) nativos, en el cultivo de café (Coffea arabica L.), en cuatro provincias (El Dorado, Lamas, San Martín y Moyobamba) en la región San Martín* [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO].  
<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3529/1/AGRONOMIA%20-%20Elmer%20Arteaga%20Alejandr%C3%ada.pdf>

- Arteaga, M., Tafur, S., Santillán, T., Pérez, G., Pastor, S., & Batista, A. (2020). Caracterización de la colonización por micorrizas en *Retrophyllum rospigliossi* Pilger en el bosque Huamantanga, Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3), 535–549. <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/653>
- Ati, G., Lara, I., Vasco, M., & Andino, E. (2023). Revisión bibliográfica: aplicación de estudios etnobotánicos para inventariar el conocimiento y uso de la biodiversidad vegetal. *Polo Del Conocimiento*, 8(10), 610–627. <https://doi.org/DOI: 10.23857/pc.v8i10.6145>
- Barona, D. (2021). Propiedades de los índices de equidad según su relación con atributos comunitarios. *South Sustainability*, 2(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.21142/SS-0201-2021-ac001>
- Belezaca, C., Calle, D., Prieto, O., López, R., Solano, E., Díaz, O., Díaz, P., Guachambala, M., & Bohórquez, T. (2020). HONGOS DE MICORRIZA ARBUSCULAR PRESENTES EN *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. (BALSA) EN ECUADOR. *JOURNAL OF SCIENCE AND RESEARC*, 5(3). <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3927039>
- Carlos, M., Saparrat, N., Ruscitti, M., & Arango, M. (2020). *Micorrizas arbusculares, Biología y aplicaciones en el sector agro-forestal* (Editorial de la UNLP). [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/99599/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/99599/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Cervantes, R., Peñuelas, O., Araujo, N., Fierro, R., Trejo, D., Maldonado, I., & Cordero, J. (2021). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a plantas voluntarias de maíz en suelos de transición: ecosistema natural - uso agrícola. *Scientia Fungorum*, 51. <https://doi.org/10.33885/SF.2021.51.1330>
- Chávez, C. G., Barrera, C. C., Téllez, G. J., Chimal, E., García, R., Chávez, C. G., Barrera, C. C., Téllez, G. J., Chimal, E., & García, R. (2021). Colonización micorrízica y comunidades de hongos micorrizógenos arbusculares en plantas medicinales del bosque

- templado “Agua Escondida”, Taxco, Guerrero, México. *Scientia Fungorum*, 51. <https://doi.org/https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1325>
- Chimal, E., Reyes, I., Salmerón, J., Vázquez, N., & Varela, L. (2018). Cuatro nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares (Glomeromycota) asociados con *Agave karwinskii* y *A. angustifolia* (Agavaceae) de Oaxaca, México. *Acta Botanica Mexicana*, 173–187. <https://doi.org/10.21829/ABM125.2018.1356>
- Ding, X., Jiang, Y., Xue, F., Yang, X., Shi, J., Dong, M., Zhang, Y., Kang, M., & Xu, H. (2023). Do different vegetative organs exhibit a similar temperature sensitivity in growth? *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2023.110973>
- Dodanig, H., Silva, D., Victoria, L., & Montoya, G. (2022). Hongos micorrizas arbusculares: la simbiosis de los múltiples beneficios. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 12(2), 2–14. <https://doi.org/10.5377/ELHIGO.V12I2.15196>
- Falcón, E., Cobas, M., & Bonilla, M. (2020). Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares en el crecimiento y nutrición de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. *Hombre Ciencia y Tecnología*, 24. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/441/4411976004/4411976004.pdf>
- Fernandes, M., Oliveira, C., Silva, A., Junior, L., Fontes, P., Fernandes, M., Oliveira, D., Santos, C., Filho, R., Filho, R., Piscoya, V., Piscoya, T., & Filho, M. (2021). The inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improved ecophysiological and growth parameters of *Schinus terebinthifolius* and *Caesalpinia ferrea* in degraded mining sites. *Environmental Challenges*, 4. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2021.100181>
- Ganoudi, M., Ouallal, I., El Mekkaoui, A., Majid, M., Ibriz, M., & Iraqi, D. (2023). Diversity of Endomycorrhizal Fungi in Argan Forest Stands: Implications for the Success of Reforestation Programs. *Forests*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/F14081649>

- He, Y. M., Fan, X. M., Zhang, G. Q., Li, B., Li, T. G., Zu, Y. Q., & Zhan, F. D. (2020). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes on maize performance and root traits under a high cadmium stress. *South African Journal of Botany*, 415–423. <https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2019.09.018>
- Hernández, A., & Monroy, M. (2017). *Caracterización de hongos micorrícicos arbúsculares asociados a tres clones de cacao (theobroma cacao ml.) en el yopal (casanare), colombia* [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA]. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/2474>
- Herrera Castillo, I. (2019). *OCURRENCIA DE HONGOS DE MICORRIZA ARBUSCULAR EN CAOBA (Swietenia macrophylla), UCAYALI – 2018* [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA]. <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3458/49609.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INVAM. (2016). *International Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. <https://invam.ku.edu/species-descriptions>
- Jururo Quispe, M. (2018). *Valorización económica de los servicios ecosistémicos de almacenamiento de agua y carbono en los Bosques de Queñua (Polylepis) del distrito de Chiguata de la provincia de Arequipa* [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6107>
- Ley, J., Furrázola, E., & Torres, Y. (2021). Endomicorrizas arbusculares. *Researchgate*. <https://doi.org/DOI: 10.13140/RG.2.2.18029.92645>
- Mendoza Delgado, D. (2021). *MICORRÍZAS ARBUSCULARES Y SU RELACIÓN CON FACTORES FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO, PRESENTES EN EL BOSQUE SECUNDARIO “NOÉ MORÁN” DEL HUMEDAL ABRAS DE MANTEQUILLA* [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO].

<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/306aa514-0bc0-4f5c-bfb1-b7c48fb22553/content>

MINAGRI. (2013). *Decreto supremo N°009-2013.*

[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2373731/DS\\_009\\_2013\\_MINAGRI.pdf?v=1636567257](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2373731/DS_009_2013_MINAGRI.pdf?v=1636567257)

MINAGRI. (2016). *Ley N°29763, ley forestal y de fauna silvestre.*

<https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2016/03/LFFS-Y-SUS-REGLAMENTOS.pdf>

MINAM. (2013). *Decreto supremo N°012-2009-MINAM.* [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_012-2009-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_012-2009-minam.pdf)

MINAM. (2014). *Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos.*

MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal.*

<https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>

MINAM. (2016). *Decreto Supremo N°007-2016.*

<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-007-2016-minam/>

MINAM. (2017). *Ley N° 28611 LEY GENERAL DEL AMBIENTE.*

<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N°-28611.pdf>

Molina Pereira, Y. (2019). La Reforestación como Estrategia Ambiental para la Conservación de ríos y quebradas. *Revista Cientific*, 4(13), 182–199.

<https://doi.org/10.29394/SCIENTIFIC.ISSN.2542-2987.2019.4.13.9.182-199>

Oliveira, H., Pereira, S., & Santos, M. (2023). *Cenostigma microphyllum* seedlings in semiarid region grow faster under arbuscular mycorrhizal symbiosis, regardless of water

availability. *Journal of Arid Environments*, 212.

<https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2023.104962>

Outamamat, E., Dounas, H., Aziz, F., Barguaz, A., Duponnois, R., & Ouahmane, L. (2022).

The first use of morphologically isolated arbuscular mycorrhizal fungi single-species from Moroccan ecosystems to improve growth, nutrients uptake and photosynthesis in *Ceratonia siliqua* seedlings under nursery conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2121–2130. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.11.049>

Powell, J. R., & Rillig, M. C. (2018). Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. *New Phytologist*, 220(4), 1059–1075.

<https://doi.org/10.1111/NPH.15119>

Prieto, O., Stürmer, S., do Nascimento, E., Urdánigo, J., da Silva, K., & Barbosa, R. (2022).

Seasonal variation of arbuscular mycorrhizal fungi in ecotone forests of the northern region of Brazilian Amazonia. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 50(1). <https://doi.org/10.15835/NBHA50112625>

Reyes, J. R., Morales, J. A. R., De Jesus Pimienta de la Torre, D., Perez, M. A. F., Morales, P.

M., Garcia, A. M., & Medina, J. F. A. (2022). Diversity and structure of shadow trees associated with *Coffea arabica* L. in Soconusco, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(71), 4–27. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1191>

Romero Veliz, J. (2021). *PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE ESQUEJES DE QUEÑUA*

*(Polylepis incana) CON LA APLICACIÓN DE DOS ENRAIZADORES NATURALES Y TRES TIPOS DE SUSTRATOS EN CONDICIONES DE VIVERO REGIÓN JUNÍN* [Tesis

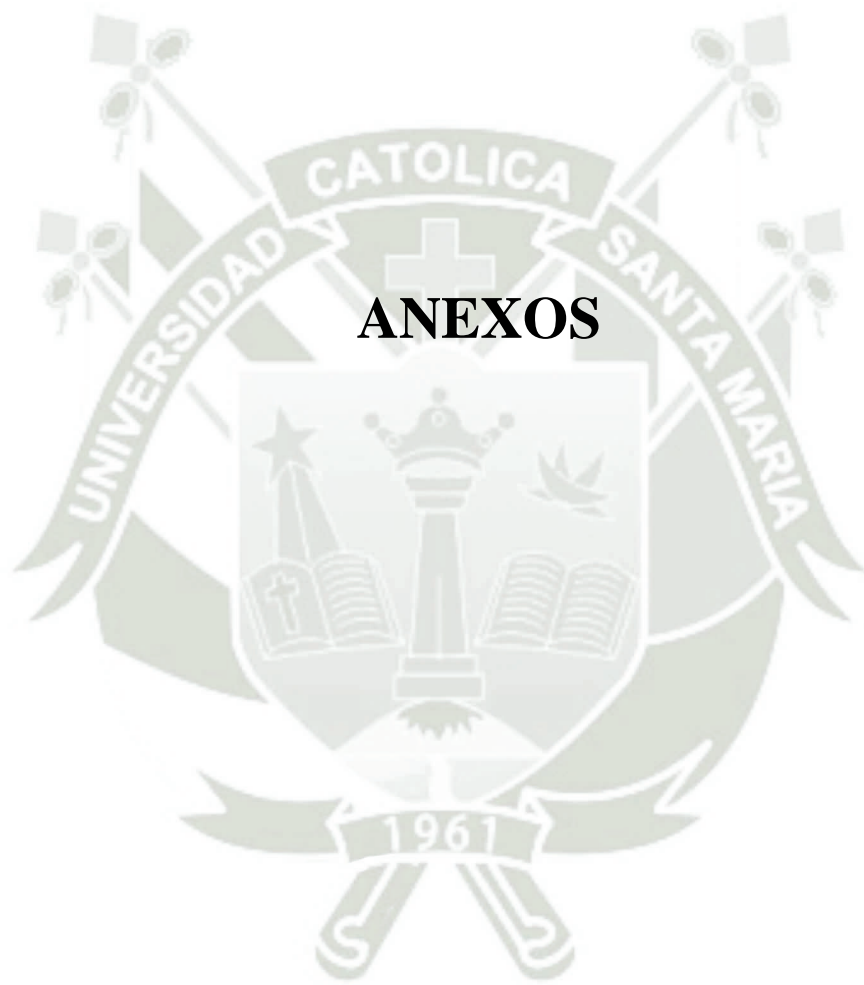
de Pregrado, UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI].

[http://3.17.44.64/bitstream/handle/20.500.12819/1353/Jose\\_trab-inv\\_grad-acad\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://3.17.44.64/bitstream/handle/20.500.12819/1353/Jose_trab-inv_grad-acad_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Ruiz, N. (2020). *DIVERSIDAD DE HONGOS MICORRÍZICOS EN DIFERENTES ESTADOS DE CONSERVACIÓN DE UN BOSQUE DE ENCINOS*. [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD VERACRUZANA CENTRO DE INVESTIGACIONES TROPICALES]. <https://www.uv.mx/met/files/2020/12/NIR-TESIS.pdf>
- Salmerón, I., Pedraza, M., Mendoza, L., & Chávez, A. (2015). CRONOLOGÍA DE LA TAXONOMÍA Y CLADÍSTICA DE LOS GLOMEROMICETOS. *Artículo de Revisión Rev. Fitotec. Mex*, 38(2), 153–163. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v38n2/v38n2a5.pdf>
- Salmerón-Santiago, I. A., Pedraza-Santos, M. E., Mendoza-Oviedo, L. S., & Chávez-Bárceñas, A. T. (2015). CRONOLOGÍA DE LA TAXONOMÍA Y CLADÍSTICA DE LOS GLOMEROMICETOS CHRONOLOGY OF THE TAXONOMY AND CLADISTICS OF GLOMEROMYCETES. In *Artículo de Revisión Rev. Fitotec. Mex* (Vol. 38, Issue 2). <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v38n2/v38n2a5.pdf>
- Santillana, N., & Toro, M. (2018). Asociación micorrízica arbuscular en pastizales de la comunidad Alto Andina de Ccarhuaccpampa – Ayacucho. *Ecología Aplicada*, 17(2), 165–169. <https://doi.org/10.21704/REA.V17I2.1236>
- Segovia, M., Caiza, J., Kessler, M., Ramsay, P., Boza, T., Renison, D., Quispe, H., Urquiaga, E., Rodriguez, M., Ames, F., Carabajo, A., Cabrera, D., & Romoleroux, K. (2021). ¿Cómo avanzar en la conservación de los bosques de *Polylepis* y su diversidad biológica? *Neotropical Biodiversity*, 7(1), 318–326. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1953895>
- Soto, J. E., Pinto, J. E., & Millán, E. E. (2022). Micorrizas arbusculares y las técnicas de visión artificial para su identificación. *Tecnológicas*, 25(54). <https://doi.org/10.22430/22565337.2348>

- Trevizan, J., & Aguilar, R. (2019). Evaluación del proceso de viverización para obtención de plantas de queñoa (*Polylepis rugulosa* Bitter) con distintos tipos de sustratos en la localidad de Chapiquiña, XV región de Arica y Parinacota, Chile. *Idesia (Arica)*, 37(3), 89–97. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000300089>
- Urgiles, N., Guachanamá, J., Granda, K., Robles, Á., Encalada, M., Loján, P., Avila, M., Hurtado, L., Poma, N., Collahuazo, Y., Araujo, S., & Quichimbo, L. (2020). Caracterización morfológica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 10(2). [https://www.researchgate.net/profile/Salome-Araujo/publication/348393036\\_Caracterizacion\\_morfologica\\_de\\_hongos\\_micorrizicos\\_arbusculares\\_HMA\\_asociados\\_al\\_cafe\\_en\\_sistemas\\_agroforestales\\_de\\_la\\_provincia\\_de\\_Loja\\_Ecuador/links/5ffc8b2ea6fdccdc84a29c9/Caracterizacion-morfologica-de-hongos-micorrizicos-arbusculares-HMA-asociados-al-cafe-en-sistemas-agroforestales-de-la-provincia-de-Loja-Ecuador.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Salome-Araujo/publication/348393036_Caracterizacion_morfologica_de_hongos_micorrizicos_arbusculares_HMA_asociados_al_cafe_en_sistemas_agroforestales_de_la_provincia_de_Loja_Ecuador/links/5ffc8b2ea6fdccdc84a29c9/Caracterizacion-morfologica-de-hongos-micorrizicos-arbusculares-HMA-asociados-al-cafe-en-sistemas-agroforestales-de-la-provincia-de-Loja-Ecuador.pdf)
- Valdez, C., Guzmán, M., Valdés, A., Forougbakhch, R., Alvarado, M., Rocha, A., Valdez, C., Guzmán, M., Valdés, A., Forougbakhch, R., Alvarado, M., & Rocha, A. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1674–1682. <https://doi.org/10.15517/RBT.V66I4.32135>
- Valdivia Bueno, G. (2020). *DISEÑO DE UN PROYECTO DE INVERSIÓN PARA BONOS DE CARBONO EN BOSQUES ALTOANDINOS DE “QUEÑUA” POLYLEPIS SP EN LA REGIÓN AREQUIPA* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica San Pablo]. <https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/90f2743b-8e53-4b30-a9c3-d7015c12a39a/content>

- Vistín, D., Salas, E., Balseca, J., & Lara, N. (2023). Distribución potencial de *Polylepis incana* en los Andes ecuatorianos para estudios de fisiología vegetal y planes de rehabilitación forestal. *Ecología Austral*, 33(1), 001–012. <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.1.0.1991>
- Wagner, B., Pimentel, E., Marcano, I., Bueno, A., Salazar, A., Merari, C., & Núñez, P. (2021). Caracterización de micorrizas autóctonas en suelos y raíces provenientes de pasturas en Santiago Rodríguez, República Dominicana. *Revista Agropecuaria Forestal*, 41–52. <https://sodiaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/122/112>
- Zegarra Amézquita, K. (2014). *Establecimiento in vitro de Yemas y Efecto de Reguladores de Crecimiento ANA y BAP en la Micropropagación de Polylepis rugulosa (Queñua) de Zonas Altoandinas de Arequipa* [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA]. <https://core.ac.uk/download/pdf/198131649.pdf>



## ANEXO 1

Determinación del Índice de Shannon de la zona A y B.

**Tabla 10**

Determinación del Índice de Shannon en la Zona A

Especie de HMA	Zona A	Pi	Pi*LnPi
<i>Acaulospora bireticulata</i>	5	0.026	-0.096
<i>Acaulospora colombiana</i>	26	0.137	-0.272
<i>Acaulospora denticulata</i>	22	0.116	-0.250
<i>Acaulospora foveata</i>	2	0.011	-0.048
<i>Acaulospora kentinensis</i>	41	0.216	-0.331
<i>Acaulospora koskei</i>	1	0.005	-0.028
<i>Acaulospora mellea</i>	1	0.005	-0.028
<i>Acaulospora morrowiae</i>	1	0.005	-0.028
<i>Acaulospora rehmi</i>	3	0.016	-0.066
<i>Acaulospora sp1</i>	9	0.047	-0.144
<i>Acaulospora sp2</i>	3	0.016	-0.066
<i>Acaulospora sp3</i>	5	0.026	-0.096
<i>Acaulospora sporocarpia</i>	1	0.005	-0.028
<i>Diversispora globifera</i>	1	0.005	-0.028
<i>Claroideoglomerum claroideum</i>	2	0.011	-0.048
<i>Claroideoglomerum etunicatum</i>	6	0.032	-0.109
<i>Claroideoglomerum lamellosum</i>	4	0.021	-0.081
<i>Claroideoglomerum sp1</i>	1	0.005	-0.028
<i>Racocetra coralloidea</i>	1	0.005	-0.028
<i>Racocetra verrucosa</i>	2	0.011	-0.048
<i>Glomus fistulosum</i>	1	0.005	-0.028
<i>Glomus hoy</i>	1	0.005	-0.028
<i>Glomus pansihalos</i>	1	0.005	-0.028
<i>Glomus sp3</i>	2	0.011	-0.048
<i>Glomus sp1</i>	6	0.032	-0.109
<i>Glomus sp2</i>	19	0.100	-0.230
<i>Rhizophagus aggregatus</i>	1	0.005	-0.028
<i>Rhizophagus clarus</i>	5	0.026	-0.096
<i>Rhizophagus intraradices</i>	17	0.089	-0.216
29 Especies	<b>190</b>	<b>1</b>	<b>-2.657</b>
<b>Índice de Shannon-Wiener</b>			<b>2.657</b>

**Tabla 11**

*Determinación del Índice de Shannon en la Zona B*

<b>Especie de HMA</b>	<b>Zona B</b>	<b>Pi</b>	<b>Pi*LnPi</b>
<i>Acaulospora capsicula</i>	1	0.003	-0.019
<i>Acaulospora colombiana</i>	14	0.046	-0.141
<i>Acaulospora denticulata</i>	19	0.062	-0.172
<i>Acaulospora elegans</i>	1	0.003	-0.019
<i>Acaulospora kentinensis</i>	78	0.254	-0.348
<i>Acaulospora laevis</i>	1	0.003	-0.019
<i>Acaulospora morrowiae</i>	3	0.010	-0.045
<i>Acaulospora rehmi</i>	12	0.039	-0.127
<i>Acaulospora</i> sp.	66	0.215	-0.330
<i>Acaulospora</i> sp2	3	0.010	-0.045
<i>Claroideoglomerum etunicatum</i>	1	0.003	-0.019
<i>Claroideoglomerum lamellosum</i>	8	0.026	-0.095
<i>Claroideoglomerum lateum</i>	1	0.003	-0.019
<i>Claroideoglomerum</i> sp.	1	0.003	-0.019
<i>Claroideoglomerum</i> Sp1	8	0.026	-0.095
<i>Dentiscutata heterogama</i>	1	0.003	-0.019
<i>Scutellospora calospora</i>	3	0.010	-0.045
<i>Funneliformis mosseae</i>	1	0.003	-0.019
<i>Glomus pansihalos</i>	2	0.007	-0.033
<i>Glomus</i> sp3	1	0.003	-0.019
<i>Glomus</i> sp.	20	0.065	-0.178
<i>Glomus</i> sp1	2	0.007	-0.033
<i>Glomus</i> sp2	34	0.111	-0.244
<i>Glomus</i> sp4	2	0.007	-0.033
<i>Glomus</i> sp5	2	0.007	-0.033
<i>Rhizophagus intraradices</i>	22	0.072	-0.189
<b>26 Especies</b>	<b>307</b>	<b>1</b>	<b>-2.354</b>
<b>Índice de Shannon-Wiener</b>			<b>2.354</b>

## ANEXO 2

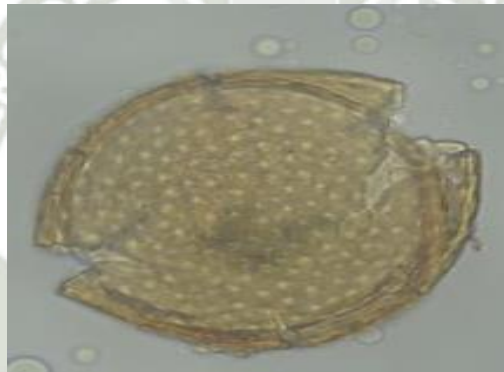
*Especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares identificados en las Zonas A y B del Bosque de Queñua*

### Tabla 12

*Especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares identificados en las Zonas A y B del Bosque de Queñua*

#### ESPECIE DE HMA

##### *Acaulospora bireticulata*



##### *Acaulospora capsicula*



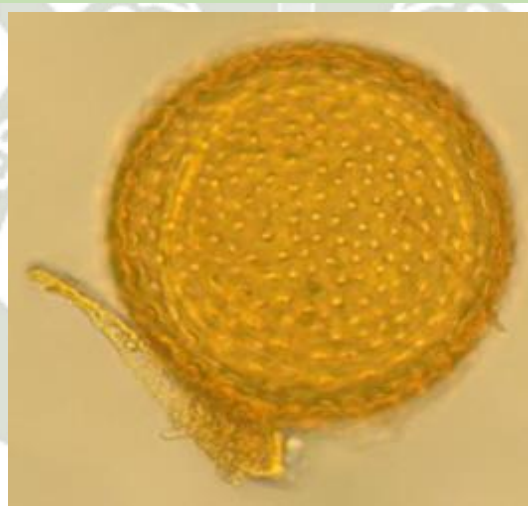
##### *Acaulospora colombiana*



*Acaulospora denticulata*



*Acaulospora elegans*



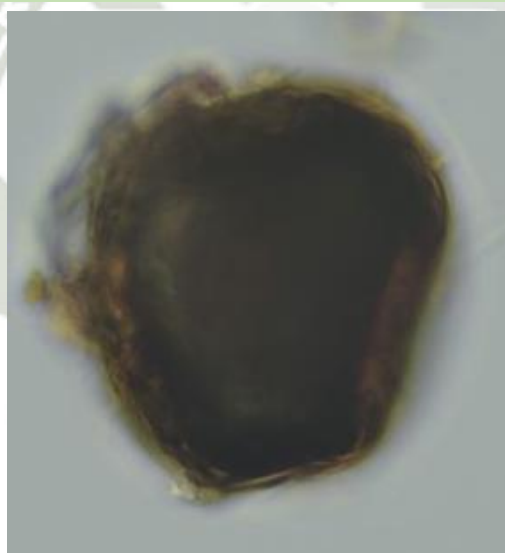
*Acaulospora foveate*



*Acaulospora kentinensis*



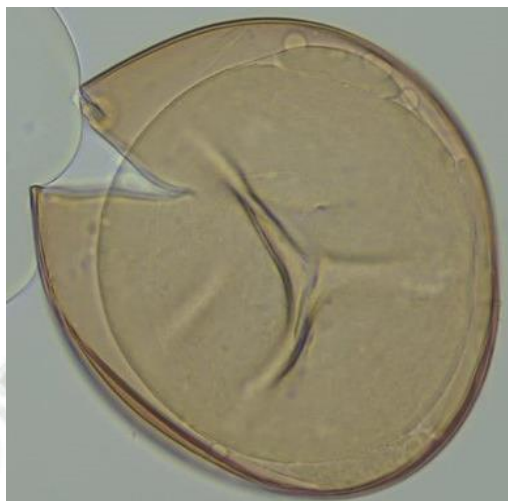
*Acaulospora koskei*



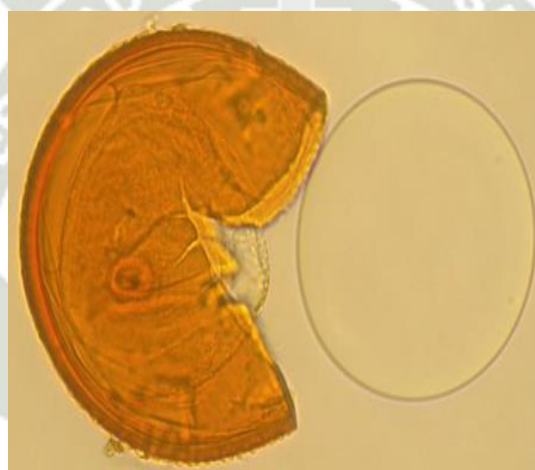
*Acaulospora laevis*



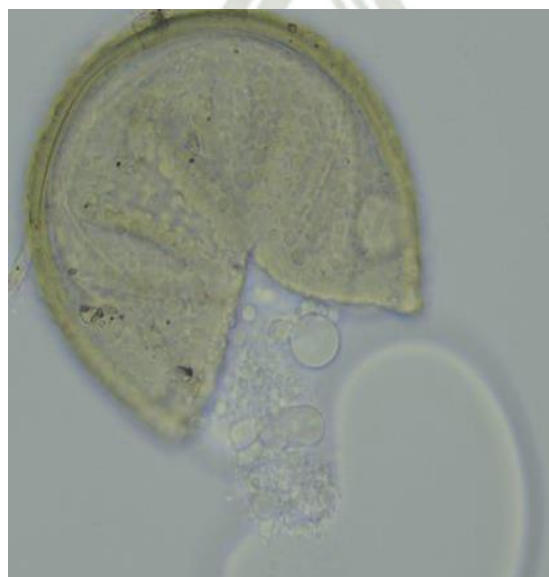
*Acaulospora mellea*



*Acaulospora morrowiae*



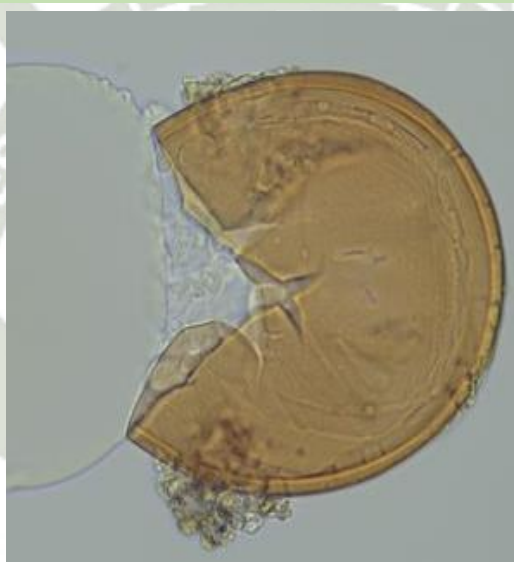
*Acaulospora rehmii*



*Acaulospora* sp.



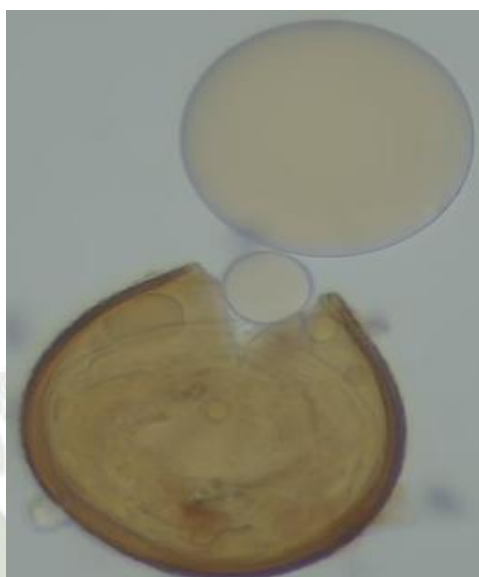
*Acaulospora* sp1



*Acaulospora* sp2



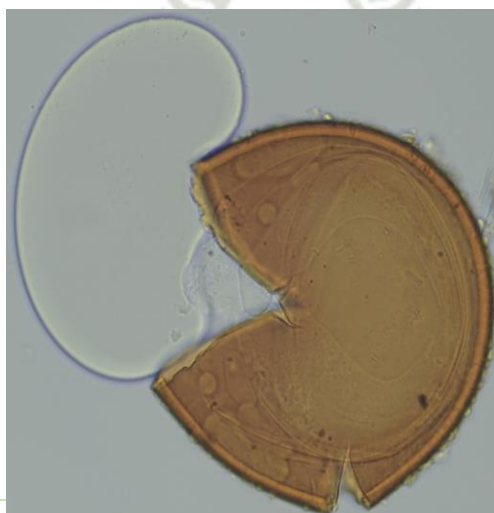
*Acaulospora* sp3



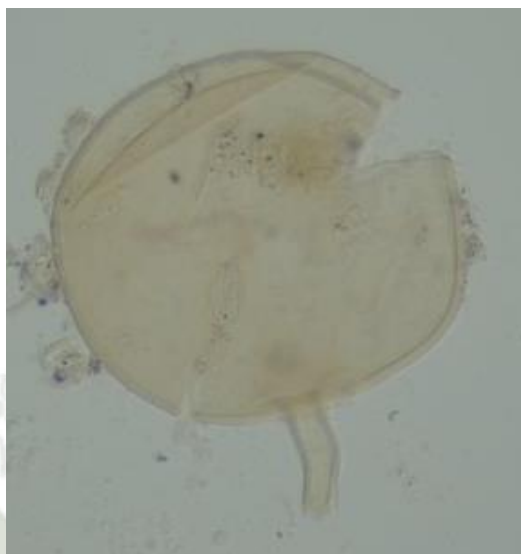
*Acaulospora sporocarpia*



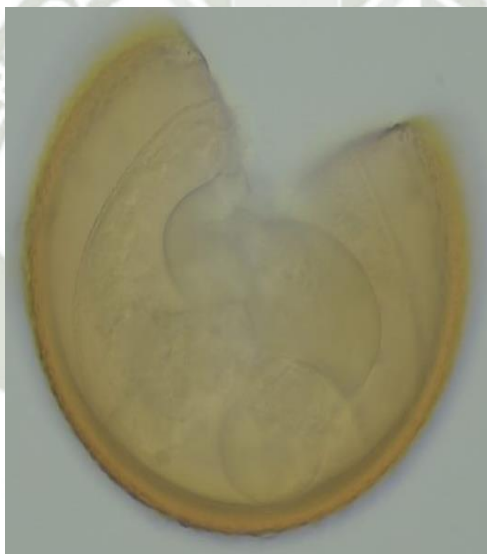
*Diversispora globifera*



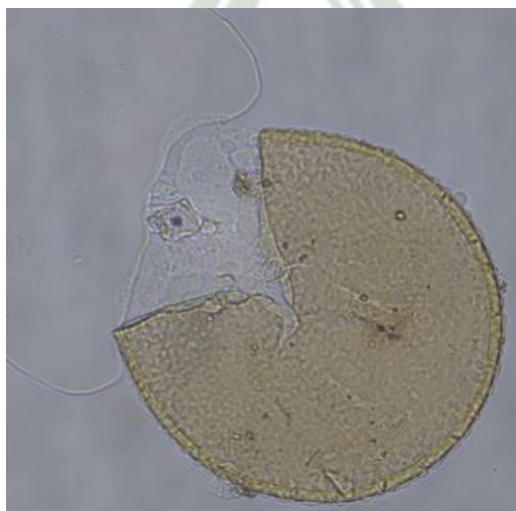
*Claroideoglopus claroideum*



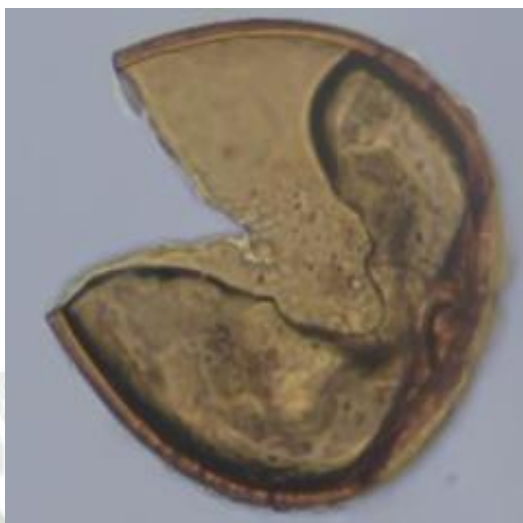
*Claroideoglopus etunicatum*



*Claroideoglopus lamellosum*



*Claroideoglopus lateum*



*Claroideoglopus sp.*



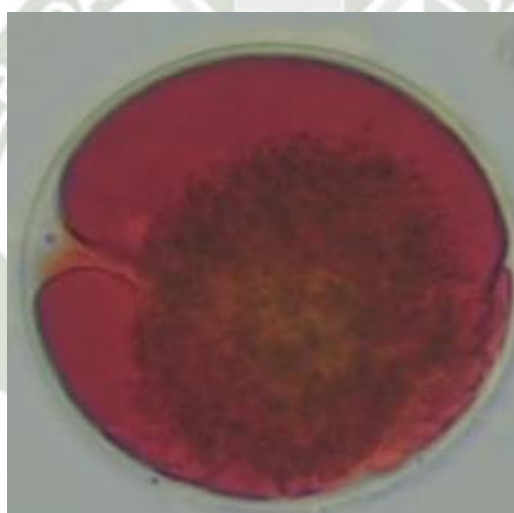
*Claroideoglopus sp1*



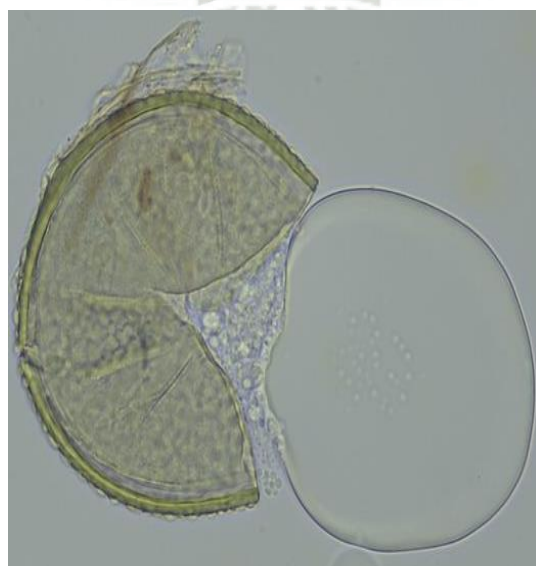
*Dentiscutata heterogama*



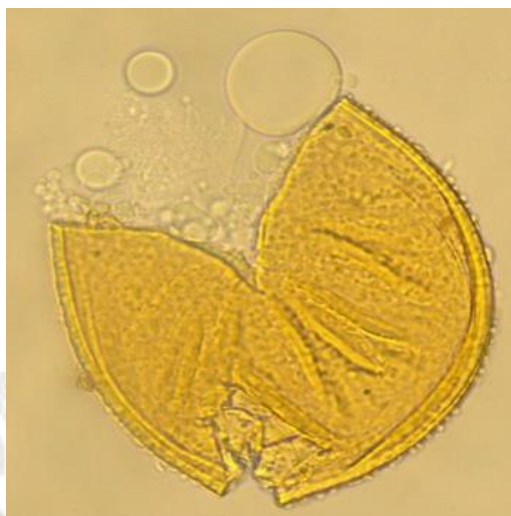
*Racocetra coralloidea*



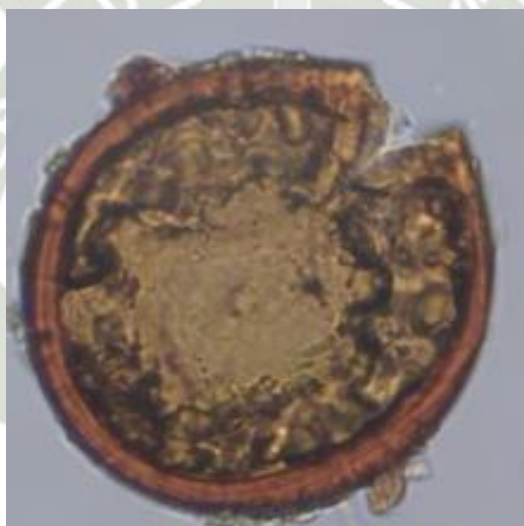
*Racocetra verrucosa*



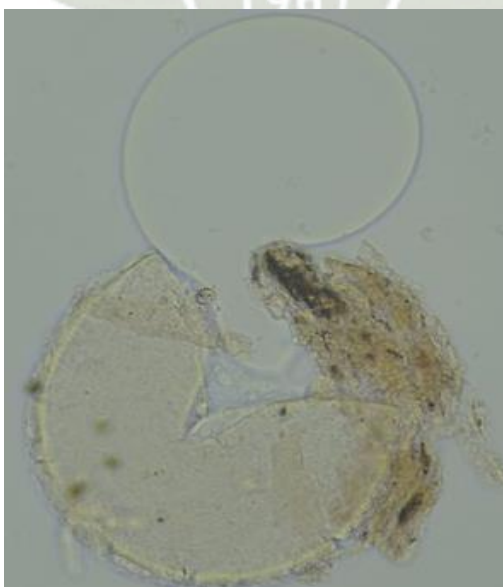
*Scutellospora calospora*



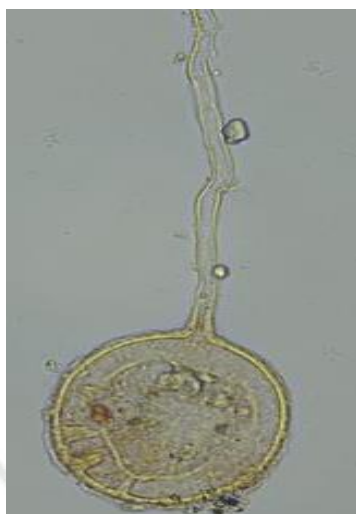
*Funneliformis mosseae*



*Glomus fistulosum*



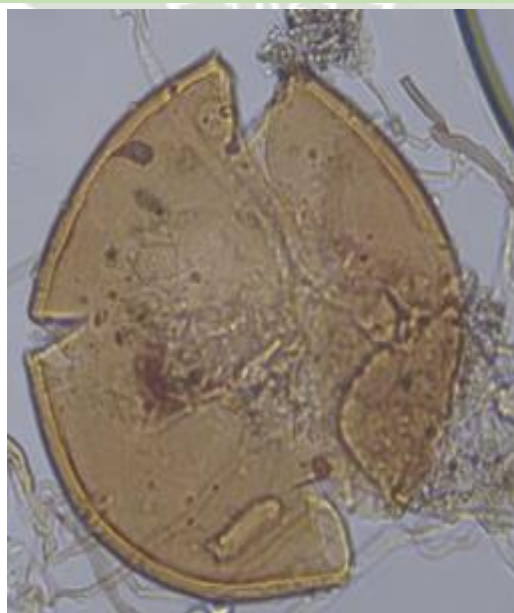
*Glomus hoy*



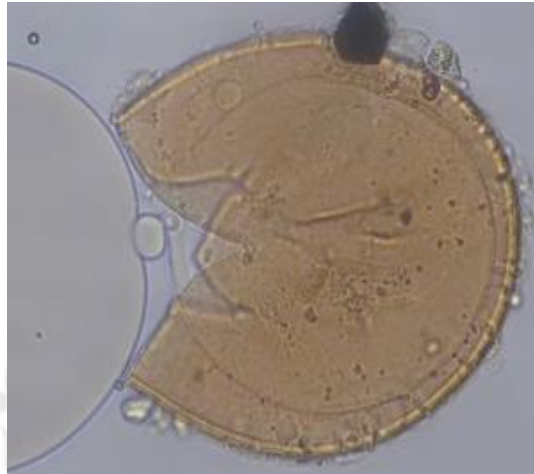
*Glomus pansihalos*



*Glomus sp3*



*Glomus* sp.



*Glomus* sp1



*Glomus* sp2



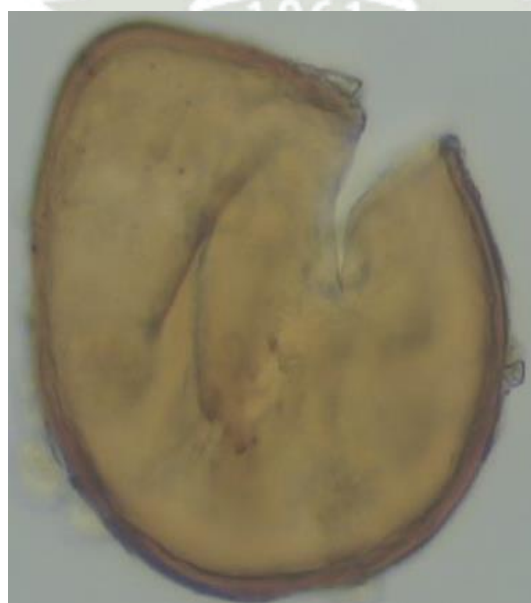
*Glomus sp4*



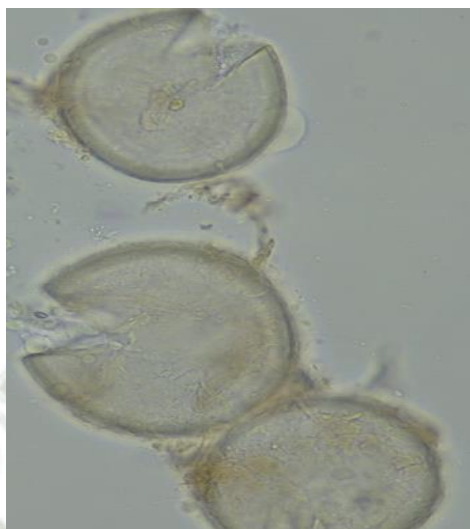
*Glomus sp5*



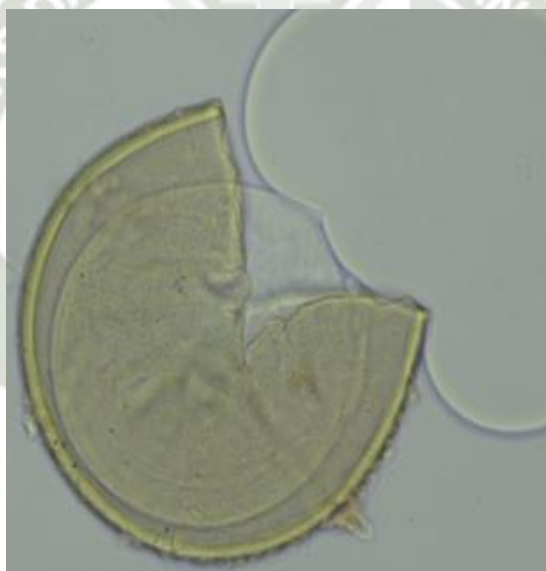
*Rhizophagus aggregatus*



*Rhizophagus clarus*



*Rhizophagus intraradices*



### ANEXO 3

#### Panel fotográfico 1



**Figura 14** *Bosque de Queñua o Polylepis*



**Figura 15** *Recolección de muestras en el Bosque de Polylepis*



**Figura 16** *Plantaciones de Queñua*



**Figura 17** *Uso del GPS*



**Figura 18** *Vivero de especies de Polylepis en Cacayaco*



## ANEXO 4

### Panel fotográfico 2



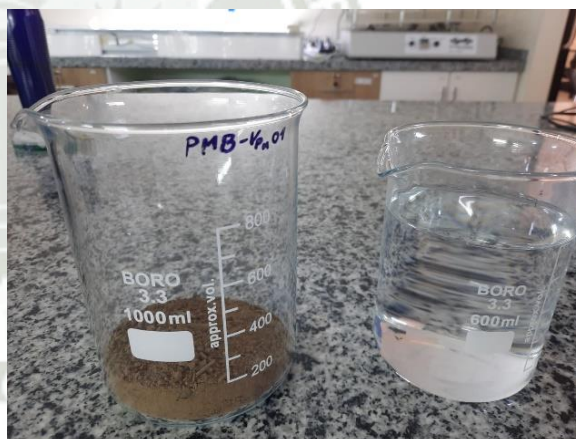
**Figura 19** Refrigeración de  
muestras



**Figura 20** Muestra número 1 de la Zona A



**Figura 21** Peso de 100 g de  
muestra de suelo



**Figura 22** Preparación de muestra de suelo  
con 1L de agua



**Figura 23** *Mescla de la muestra con agua*



**Figura 24** *Tamices de 600 um 425 um 106 um y 75 um*



**Figura 25** *Vertimiento de la muestra en los Tamices*



**Figura 26** *Recolección de la muestra obtenida en el tamiz N.º 75 um*



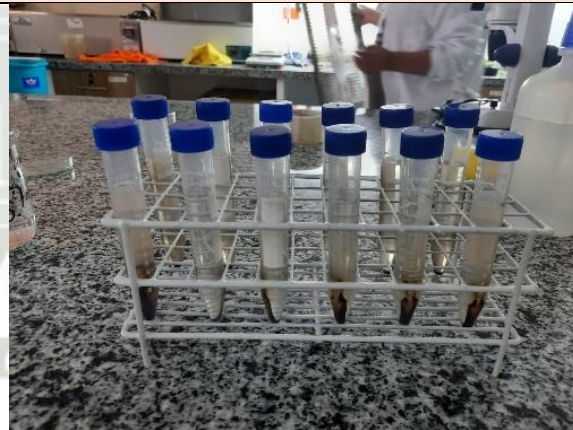
**Figura 27** Sacarosa al 20% y sacarosa al 60%



**Figura 28** Sacarosa en tubos de precipitación



**Figura 29** Centrifugado en gradiente de sacarosa al 20% y 60% a 3000 rpm



**Figura 30** Tubos centrífugos con sobrenadante



**Figura 31** *Enjuague de sacara*



**Figura 32** *Esteroscopio usado para el conteo de esporas*





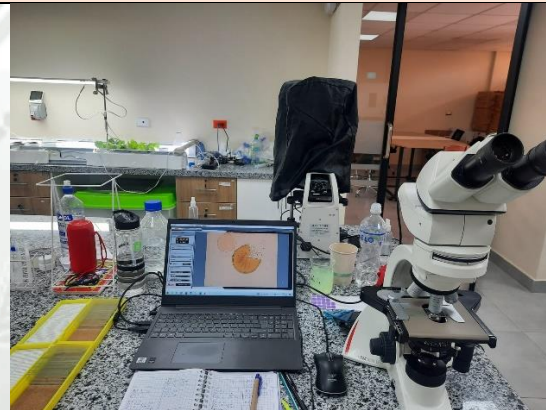
**Figura 33** *Montaje de esporas en portaobjetos*



**Figura 34** *Reactivo de PVLG y Melzer*



**Figura 35** *Montaje de esporas en portaobjetos*



**Figura 36** *Identificación de HMA*



**Figura 37** Trabajo de  
caracterización de HMA en laboratorio



**Figura 38** Laboratorio del pabellón E de  
la UCSM

