

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL  
Y AMBIENTAL**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE JAÉN**

**HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN  
PLANTACIONES DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) A  
DIFERENTES ALTITUDES EN SHUMBANA -  
SANTA ROSA - JAÉN - PERÚ**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
FORESTAL Y AMBIENTAL**

**Autor: Bach. Anderson Maxwell, Cubas Delgado**

**Asesor: Dr. Segundo Edilberto, Vergara Medrano**

**Co-asesora: Mtblga. Marcela Nancy, Arteaga Cuba**

**JAÉN - PERÚ, DICIEMBRE, 2022**

NOMBRE DEL TRABAJO

**IFT\_ Anderson Maxwel Cubas Delgado\_I  
FA.pdf**

AUTOR

**Cubas Delgado**

RECUENTO DE PALABRAS

**8924 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**46607 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**51 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**1.6MB**

FECHA DE ENTREGA

**Feb 21, 2023 1:13 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Feb 21, 2023 1:16 AM GMT-5****● 16% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 27 de diciembre del año 2022, siendo las 15:30 horas, se reunieron de manera presencial, los integrantes del Jurado:

**Presidente:** Dr. Juan Manuel Garay Román

**Secretario:** Dr. Segundo Sanchez Tello

**Vocal:** Dr. Polito Michael Huayana Sopla, para evaluar la Sustentación del:

- ( ) Informe de Plan de Trabajo de Investigación  
(X) informe Final de Tesis  
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado " Hongos Micorrízicos Arbusculares en plantaciones de café (toffen arabica L) en Diferentes Altitudes en Shumbana - Santa Rosa - Jaén - Perú" presentado por Bach. Anderson Maxwell, Cubas Delgado, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

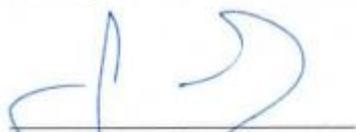
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad (X) Mayoría

Con la siguiente mención:

a) Excelente	18, 19, 20	( )
b) Muy bueno	16, 17	( 16 )
c) Bueno	14, 15	( )
d) Regular	13	( )
e) Desaprobado	12 ó menos	( )

Siendo las 16 :43 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmado su participación con la suscripción de la presente.



Presidente de Jurado Evaluador

Secretario de Jurado Evaluador



Vocal de Jurado Evaluador

## ÍNDICE

	<i>Pág.</i>
RESUMEN .....	05
ABSTRACT.....	06
I. INTRODUCCIÓN .....	07
II. OBJETIVOS .....	11
2.1 Objetivo general .....	11
2.2 Objetivos específicos .....	11
III. MATERIAL Y MÉTODOS .....	12
3.1 Población, muestra y muestreo .....	12
3.1.1 Población .....	12
3.1.2 Muestra .....	12
3.1.3 Muestreo .....	12
3.2 Metodología .....	17
3.3 Materiales y equipos .....	17
3.4 Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos ....	18
IV. RESULTADOS .....	26
V. DISCUSIÓN .....	47
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	49
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
AGRADECIMIENTO .....	53
DEDICATORIA .....	54
ANEXOS .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Filogenia y taxonomía de micorrizas arbusculares y hongos relacionados...</i>	22
<b>Tabla 2.</b> <i>Densidad de esporas de los HMA a 1 400 m.s.n.m. ....</i>	26
<b>Tabla 3.</b> <i>Densidad de esporas de los HMA a 1 600 m.s.n.m. ....</i>	27
<b>Tabla 4.</b> <i>Densidad de esporas de los HMA a 1 800 m.s.n.m. ....</i>	27
<b>Tabla 5.</b> <i>Identificación de las esporas a 1 400 m.s.n.m. ....</i>	29
<b>Tabla 6.</b> <i>Identificación de las esporas a 1 600 m.s.n.m. ....</i>	31
<b>Tabla 7.</b> <i>Identificación de las esporas a 1 800 m.s.n.m. ....</i>	33
<b>Tabla 8.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 1, a 1 400 m.s.n.m. ....</i>	35
<b>Tabla 9.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 2, a 1 400 m.s.n.m. ....</i>	35
<b>Tabla 10.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 3, a 1 400 m.s.n.m. ....</i>	36
<b>Tabla 11.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 4, a 1 400 m.s.n.m. ....</i>	36
<b>Tabla 12.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 5, a 1 400 m.s.n.m. ....</i>	36
<b>Tabla 13.</b> <i>Resumen de elementos HMA, a 1 400 m.s.n.m. ....</i>	37
<b>Tabla 14.</b> <i>Porcentaje (%) de colonización, a 1 400 m.s.n.m. ....</i>	37
<b>Tabla 15.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 1, a 1 600 m.s.n.m. ....</i>	38
<b>Tabla 16.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 2, a 1 600 m.s.n.m. ....</i>	38
<b>Tabla 17.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 3, a 1 600 m.s.n.m. ....</i>	39
<b>Tabla 18.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 4, a 1 600 m.s.n.m. ....</i>	39
<b>Tabla 19.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 5, a 1 600 m.s.n.m. ....</i>	39
<b>Tabla 20.</b> <i>Resumen de elementos HMA, a 1 600 m.s.n.m. ....</i>	40
<b>Tabla 21.</b> <i>Porcentaje (%) de colonización, a 1 600 m.s.n.m. ....</i>	40
<b>Tabla 22.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 1, a 1 800 m.s.n.m. ....</i>	41
<b>Tabla 23.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 2, a 1 800 m.s.n.m. ....</i>	41
<b>Tabla 24.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 3, a 1 800 m.s.n.m. ....</i>	42
<b>Tabla 25.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 4, a 1 800 m.s.n.m. ....</i>	42
<b>Tabla 26.</b> <i>Elementos HMA en la planta de café 5, a 1 800 m.s.n.m. ....</i>	42
<b>Tabla 27.</b> <i>Resumen de elementos HMA, a 1 800 m.s.n.m. ....</i>	43
<b>Tabla 28.</b> <i>Porcentaje (%) de colonización, a 1 800 m.s.n.m. ....</i>	43
<b>Tabla 29.</b> <i>Porcentaje de colonización versus número de especies HMA ....</i>	44

<b>Tabla 30.</b> <i>Análisis de varianza para la densidad de esporas, por altitud</i> .....	44
<b>Tabla 31.</b> <i>Análisis de varianza para los elementos HMA en plantas, por altitud</i> .....	45
<b>Tabla 32.</b> <i>Grupos similares. Prueba Post hoc de Tukey</i> .....	45
<b>Tabla 33.</b> <i>Coordenadas UTM de la parcela experimental 1 a 1 800 m.s.n.m.</i> .....	56
<b>Tabla 34.</b> <i>Coordenadas UTM de la parcela experimental 2 a 1 600 m.s.n.m.</i> .....	57
<b>Tabla 35.</b> <i>Coordenadas UTM de la parcela experimental 3 a 1 400 m.s.n.m.</i> .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> <i>Plano topográficos de la parcela experimental 1</i> .....	13
<b>Figura 2.</b> <i>Plano topográficos de la parcela experimental 2</i> .....	14
<b>Figura 3.</b> <i>Plano topográficos de la parcela experimental 3</i> .....	15
<b>Figura 4.</b> <i>Ubicación de la zona de estudio en la provincia de Jaén</i> .....	16
<b>Figura 5.</b> <i>Toma de datos en la salida de campo</i> .....	16
<b>Figura 6.</b> <i>Pesado y dilución de la muestra de tierra</i> .....	19
<b>Figura 7.</b> <i>Adición de alcohol de ácido formalina-acético</i> .....	19
<b>Figura 8.</b> <i>Observación de muestras biológicas en placas Petri</i> .....	19
<b>Figura 9.</b> <i>Pesado de un gramo de suelo seco</i> .....	20
<b>Figura 10.</b> <i>Pesado de azúcar y mezclado para el centrifugado</i> .....	20
<b>Figura 11.</b> <i>Operación de centrifugado</i> .....	20
<b>Figura 12.</b> <i>Operación de filtrado</i> .....	21
<b>Figura 13.</b> <i>Lecturas en microscopio compuesto</i> .....	21
<b>Figura 14.</b> <i>Muestreo del suelo con ayuda de la pala</i> .....	24
<b>Figura 15.</b> <i>Adición de alcohol de ácido formalina-acético</i> .....	25
<b>Figura 16.</b> <i>Clarificación de las raíces</i> .....	25
<b>Figura 17.</b> <i>Enjuague de las raíces con abundante agua fría</i> .....	25
<b>Figura 18.</b> <i>Identificación al microscopio de las esporas a 1 400 m.s.n.m.</i> .....	30
<b>Figura 19.</b> <i>Identificación al microscopio de las esporas a 1 600 m.s.n.m.</i> .....	32
<b>Figura 20.</b> <i>Identificación al microscopio de las esporas a 1 800 m.s.n.m.</i> .....	34

## RESUMEN

La investigación tuvo como finalidad la caracterización de las clases de hongos micorrízicos arbusculares hallados en la rizosfera de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) a diferentes altitudes en Shumbana - Santa Rosa – Jaén; esto fue a los 1400 m.s.n.m., 1600 m.s.n.m. y los 1800 m.s.n.m. por lo que se evaluó el porcentaje de colonización micorrízica, número de esporas, identificación de géneros y especies de hongos micorrízicos arbusculares. Se identificaron hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en tres fincas de cafetales cuya edad de crecimiento fue de tres años de edad, diferenciadas entre ellas a 200 metros de altitud. A 1400 m.s.n.m. se identificaron *Funneliformis geosporus*, *Acaulospora morrowiae*, *Glomus glomerulatum*, *Funneliformis geosporus* y *Septoglomus constrictum*; a 1600 m.s.n.m. se identificaron *Funneliformis geosporus*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Glomus brohultii* y *Acaulospora inmadura* y a 1800 m.s.n.m. se identificaron *Glomus brohultii*, *Funneliformis geosporus* y *Claroideoglomus etunicatum*. Al realizar una cuantificación del volumen biológico por piso altitudinal, se encontró que a 1400 m.s.n.m. se halló el mayor promedio 88 esporas *Glomus microcarpum* y *Acaulospora morrowiae*/gramo de suelo. A 1600 m.s.n.m. se determinó el mayor promedio 72.3 esporas *Glomus brohultii* y *Acaulospora morrowiae*/gramo de suelo y a 1800 m.s.n.m. se determinó el mayor promedio 89 esporas *Acaulospora morrowiae* y *Funneliformis geosporu*/gramo de suelo. Identificados los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se encontró que el mayor porcentaje de colonización fue a 1800 m.s.n.m. con un 87.7 % (formación de 1081 esporas, 720 hifas y 42 arbusculos), el segundo lugar para la colonización fue a 1600 m.s.n.m. con un 86.6 % (formación de 893 esporas, 899 hifas y 27 arbusculos) y en tercer lugar se determinó la menor colonización de esporas a 1400 m.s.n.m. con un 82.8 % (formación de 949 esporas, 779 hifas y 6 arbusculos. Finalmente, la presencia de los HMA favoreció la calidad del suelo agrícola cafetalero.

*Palabras claves: Hongos micorrízicos, café, altitud.*

## ABSTRACT

The purpose of the research was to characterize the classes of arbuscular mycorrhizal fungi found in the rhizosphere of coffee plantations (*Coffea arabica* L.) at different altitudes in Shumbana - Santa Rosa - Jaén; this was at 1400 m.a.s.l., 1600 m.a.s.l. and the 1800 m.a.s.l. therefore, the percentage of mycorrhizal colonization, number of spores, identification of genera and species of arbuscular mycorrhizal fungi were evaluated. Arbuscular microrrhizal fungi (AMF) were identified in three coffee farms whose growth age was three years old, differentiated between them at 200 meters of altitude. At 1400 m.a.s.l. *Funneliformis geosporus*, *Acaulospora morrowiae*, *Glomus glomerulatum*, *Funneliformis geosporus* and *Septoglomus constrictum* were identified; at 1600 m.a.s.l. *Funneliformis geosporus*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Glomus brohultii* and immature *Acaulospora* were identified and at 1800 m.a.s.l. *Glomus brohultii*, *Funneliformis geosporus* and *Claroideoglomus etunicatum* were identified. When quantifying the biological volume per altitude floor, it was found that at 1400 m.a.s.l. The highest average was 88 *Glomus microcarpum* and *Acaulospora morrowiae* spores/gram of soil. At 1600 m.a.s.l. the highest average 72.3 *Glomus brohultii* and *Acaulospora morrowiae* spores/gram of soil was determined and at 1800 m.a.s.l. the highest average 89 *Acaulospora morrowiae* and *Funneliformis geosporu* spores/gram of soil was determined. Once the arbuscular microrrhizal fungi (AMF) were identified, it was found that the highest percentage of colonization was at 1800 m.a.s.l. with 87.7% (formation of 1081 spores, 720 hyphae and 42 arbuscules), the second place for colonization was at 1600 masl with 86.6 % (formation of 893 spores, 899 hyphae and 27 arbuscules) and in third place the lowest spore colonization at 1400 m.a.s.l. with 82.8% (formation of 949 spores, 779 hyphae and 6 arbuscules) was determined. Finally, the presence of AMF favored the quality of coffee agricultural soil.

*Keywords: Mycorrhizal fungi, coffee, altitude.*

## I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural importante para la vida en la tierra, por ello, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) durante el último lustro publicó la Carta Mundial de los Suelos, que entre sus conceptos principales promueve una agricultura sustentable como estrategia para rescatar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (FAO, 2015). En la actualidad, se observa una rutina intensiva sobre los cultivos agrícolas, lo que conlleva a una degradación de la textura del suelo con la pérdida de materia orgánica y la consecuente desaparición de la comunidad microbiana, necesarios por su aporte de sustancias como resultado de su metabolismo (Fernández et al., 2006). La merma de biodiversidad en el suelo genera baja producción y rentabilidad agrícola. En cambio, una agricultura sustentable garantiza un suelo rizosférico con apreciable cantidad de microorganismos (Herrera et al., 2004). Por otra parte, Hartmann et al (2008) cita al precursor del término Rizosfera: Hiltner (1904) cuando afirmó que los exudados de las raíces de diferentes plantas apoyan el desarrollo de diferentes comunidades bacterianas. Un ejemplo, lo constituyen los hongos formadores de micorrizas arbusculares al favorecer la expansión del área de exploración de raíces en el suelo incrementando de esta manera la absorción de los nutrientes en la solución del suelo (Sieverding, 1991).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) al igual que la mayoría de las especies fúngicas, no han contado con suficiente atención a nivel mundial, siendo aún insuficientes los estudios realizados, generalmente son excluidos de los programas globales de conservación. Aquellos hábitats donde los HMA se encuentran distribuidos de manera natural, representan ecosistemas claves para su estudio y conservación, debido al riesgo existente que valiosas cepas nativas o ecotipos de HMA pudieran perderse antes de ser estudiadas, por ello se necesita implementar a la brevedad estrategias a largo plazo que asegure su conservación en los hábitats donde ellos existen y han evolucionado a lo largo de millones de años. Recientemente se han realizado algunas investigaciones con el objetivo de ampliar los conocimientos sobre la diversidad de estos hongos en ecosistemas naturales y agroecosistemas. La identificación de HMA endémicos potenciales sugiere que el estudio de su ocurrencia y distribución en áreas protegidas a través de todo el mundo puede ofrecer una

perspectiva estratégica para incrementar la percepción de la importancia de estos simbiontes beneficiosos y preservar su diversidad en los años venideros como plantean (Prieto et al., 2012). Existen evidencias que los hongos micorrizícos reciben señales de las plantas hospedadoras antes del establecimiento de la simbiosis. Del mismo modo que el hongo reacciona ante la presencia de una planta hospedadora, dicha planta también percibe señales del hongo micorrizíco arbuscular (Urgiles et al., 2020). Existen factores que pueden afectar negativamente la estructura y diversidad de comunidades de hongos micorrizícos arbusculares (HMA); como las poblaciones de otros microorganismos de suelo, las prácticas agrícolas como la tala de bosques, fuego, fertilización y labranza y en forma indirecta el microclima y la topografía que afectan a las comunidades de plantas y por tanto afectan a las comunidades de los hongos (Schüßler, 2010).

La finalidad de la presente investigación fue caracterizar las clases de hongos micorrizícos arbusculares hallados en la rizosfera de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) a diferentes altitudes en Shumbana - Santa Rosa – Jaén; desde los 1600 m.s.n.m. hasta los 1800 m.s.n.m. por lo que se evaluó el porcentaje de colonización micorrizíca, el número de esporas, identificación de géneros y especies de hongos micorrizícos arbusculares. El café pertenece a la familia *Rubiaceae*, género *Coffea*. Desde el punto de vista económico, dos son las especies de mayor importancia en el mundo: *Coffea arabica* (Arábica) y *Coffea canephora* (Robusta); siendo la primera, la especie más difundida y a la cual pertenecen la mayoría de variedades comerciales que se cultivan y se conocen (Prieto et al., 2012).

El sistema radicular de un arbusto de café tiene el mayor número de raíces absorbentes que son las más delgadas, finas y delicadas y son responsables de la absorción de nutrientes y de agua en un 85 - 90 % para la planta, según Torres et al (2015) éstas se encuentran en los primeros 30 centímetros de profundidad alrededor del tallo principal y se extienden en un radio alrededor del tronco 2.5 metros. Las raíces absorbentes se distribuyen en el área cubierta o protegida por el follaje y van hasta la gotera del árbol (Philippot et al., 2013). Un sistema radicular apropiado tiene abundancia de raíces absorbentes, finas, blancas y sanas. El cafeto tiene una raíz principal que penetra verticalmente en suelos sin limitaciones físicas, hasta profundidades de 50 centímetros. De esta raíz salen otras raíces gruesas que se extienden horizontalmente y sirven de soporte a las raíces delgadas o absorbentes, llamadas también raicillas (Aliasgharзад et al., 2001).

Rengifo (2020) investigó los efectos positivos de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Tuvo como objetivo identificar y comparar molecularmente las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares asociadas a plantas de *Coffea arabica* de edades y características de suelo en la región San Martín. Los HMA fueron analizadas tomando en cuenta el porcentaje de colonización micorrízica y variables ambientales. Los resultados sugirieron un alto porcentaje de colonización micorrízica en plantas mayores de 3 años; también, mostraron similitud en la riqueza de especies presentes en las comunidades de HMA, estando conformadas por familias *Acaulosporaceae* y *Glomeraceae* e influenciadas por variables ambientales y edad. Además, sus resultados señalaron que el limo del suelo tuvo una correlación positiva media con el porcentaje de colonización micorrízica. Y, el porcentaje de colonización micorrízica tuvo una correlación negativa con los parámetros de suelo como pH, conductividad eléctrica, fósforo, potasio, capacidad de intercambio catiónico,  $Ca^{+2}$ ,  $K^{+}$ , suma de cationes, suma de bases y porcentaje de saturación de bases lo que implica que cuando estas variables disminuyen, la colonización micorrízica aumenta.

Urgiles et al (2020) tuvieron como objetivo el aislamiento y caracterización morfológica de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) procedentes de sistemas agroforestales asociados al cultivo de café de las zonas Hacienda El Cristal (Malacatos) de la provincia de Loja, para lo cual, se recolectaron muestras de suelo y raicillas de alrededor de las plantas de café; procedieron con el aislamiento, extracción de esporas y caracterización de los morfotipos principales de HMA. En la zona de Malacatos, se encontró especies del género *Glomus*, tres morfotipos y 284 esporas/100g suelo, mientras que en las zonas de Chaguarpamba y Lozumbe, se identificó el género *Acaulospora*, con un morfotipo; y, el género *Glomus*, con tres morfotipos. Además, para Chaguarpamba y Lozumbe se encontraron 313 y 598 esporas/100g de suelo, respectivamente; el número de esporas en estos dos sectores se relaciona con la diversidad florísticas que poseen el cultivo del café dentro de sistemas agroforestales.

Bertolini et al (2020) investigaron la presencia de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) para ello recolectó suelo rizosférico en cinco lugares (Peloponeso, Montecristo, Chiquihuites, Finca Perú-París y Barrio Nuevo) de *Coffea arabica*. Las esporas de HMA fueron extraídas por tamizado húmedo y decantación, y montadas en alcohol polivinílico en lactoglicerol, con y sin reactivo Melzer. Sus resultados indicaron el registro de 10 géneros y 27 morfo especies

de HMA. La abundancia varió de 55 a 198 esporas en 100 g de suelo. El *Acaulospora* fue el género más frecuente. Chiquihuites destacó por tener más riqueza, y bajos niveles de materia orgánica y  $\text{PO}_4^{-3}$  en el suelo. En las otras plantaciones los HMA dependió de la acidez como controlador del  $\text{PO}_4^{-3}$  disponible en el suelo. El *Coffea arabica* presentó similar composición de HMA que el *Coffea canephora*. Finalmente, concluyó que el *Coffea arabica* favorece la riqueza de HMA en comparación con *Coffea canephora*. La disponibilidad del  $\text{PO}_4^{-3}$  y la acidez del suelo podrían regular la diversidad de los HMA en *Coffea arabica*, así como favorecer la presencia de HMA específicos en estas condiciones edáficas. Las especies de *Acaulospora* y los géneros sólo registrados en *Coffea arabica* podrían conformar biofertilizantes para su cultivo.

Aliasgharзад et al (2001) evaluó la abundancia y distribución de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la llanura de Tabriz, donde los niveles de salinidad del suelo oscilan entre 7,3 y 92,0 dS/m. Recolectaron muestras de suelo y raíces de la rizosfera de varios glucófitos y halófitos para determinar el número de esporas. en el suelo, colonización de raíces con HMA y algunas propiedades físicas y químicas del suelo. El número de esporas de HMA no se correlacionó significativamente con la salinidad del suelo, pero sufrió efectos adversos por la acumulación de algunos aniones y cationes. El análisis de conglomerados de matrices de correlación mostró que la colonización de raíces, el pH del suelo, el porcentaje de arena y arcilla y el P disponible en el suelo, en lugar de la salinidad del suelo y las concentraciones de iones, estaban estrechamente relacionados con el número de esporas. El porcentaje de longitud de la raíz colonizada en glucófitos disminuyó significativamente con el aumento de la salinidad del suelo. Las raíces de cebada mostraron una colonización de micorrizas del 5 % en suelos con alta salinidad (~ 20 dS/m). Las raíces halófitas no eran micorrízicas, pero se encontraron más esporas en la rizosfera que en el suelo sin rizosfera.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general:

- Caracterizar los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) en diferentes altitudes: 1400, 1600 y 1800 m.s.n.m. en Shumbana, Santa Rosa, Jaén - Perú.

### 2.2 Objetivos específicos:

- Determinar la densidad de esporas de los HMA en suelos de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) en la gradiente altitudinal de Shumbana, Santa Rosa, Jaén - Perú.
- Identificar el morfotipo a nivel de género y especies los HMA en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) en la gradiente altitudinal de Shumbana, Santa Rosa, Jaén - Perú.
- Evaluar el porcentaje de colonización de los HMA en raicillas de plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) en la gradiente altitudinal en Shumbana, Santa Rosa, Jaén - Perú.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Población, muestra y muestreo**

##### **3.1.1 Población**

La población estuvo constituida por la delimitación de tres fincas de cafetales cuya edad de crecimiento fue de tres años de edad, diferenciadas entre ellas con 200 metros de altitud, en tal sentido, la gradiente altitudinal fue desde los 1 400 hasta los 1 800 m.s.n.m.

##### **3.1.2 Muestra**

Se seleccionaron cinco plantas de café al azar en cada parcela de café, de cada planta se extrajeron 20 gramos de raicillas provenientes de raíces secundarias y terciarias, estas muestras fueron analizadas hasta determinar el número de esporas, el porcentaje de colonización de las raíces, identificación de morfotipos, comparación y conteo. Paralelamente, se recolectó un kilogramo de suelo de cada planta para luego homogenizarla.

##### **3.1.3 Muestreo**

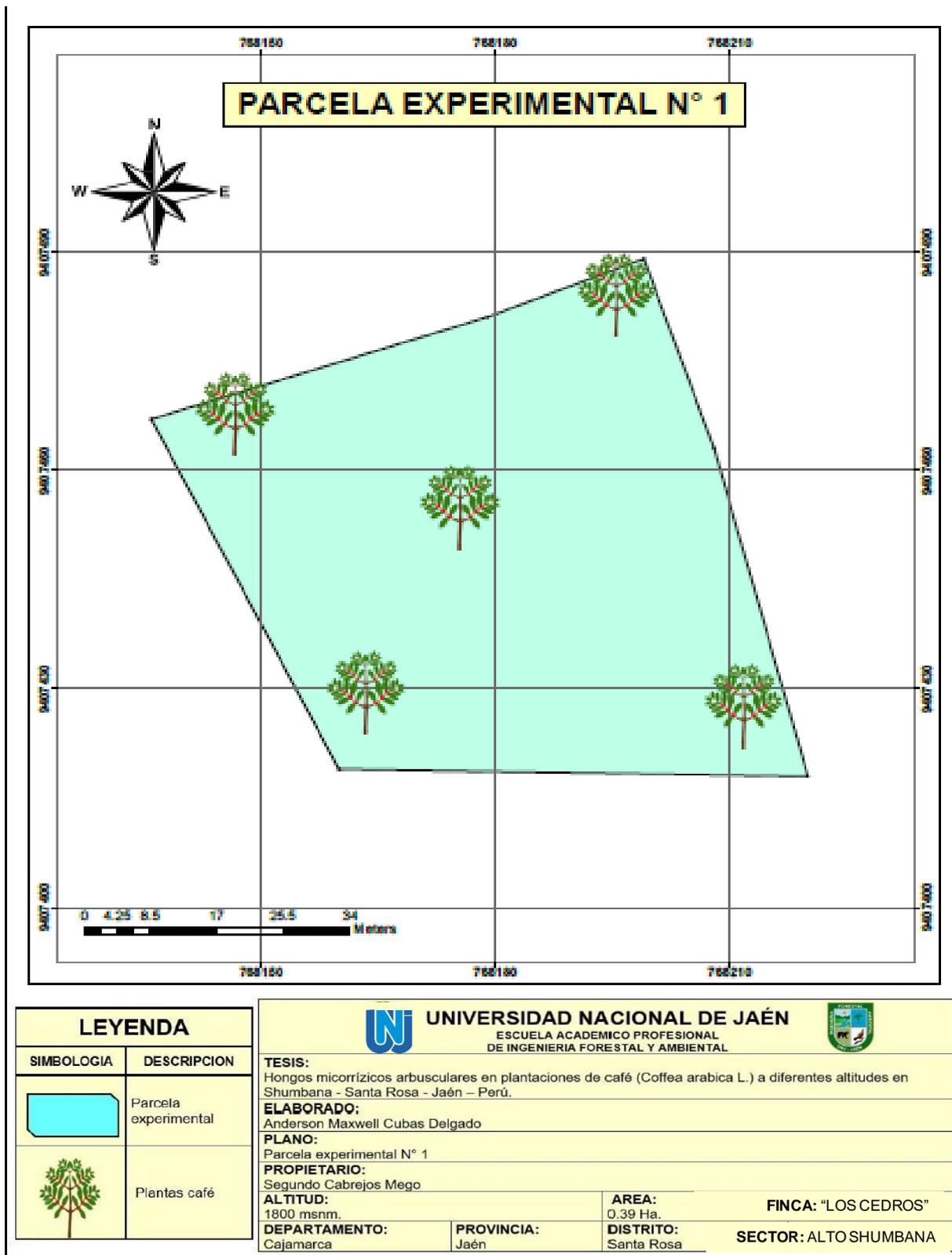
Se recolectó muestras de suelo de un kilogramo de alrededor de cada una de las plantas de café seleccionadas al azar incluyendo materia orgánica y raicillas en un metro cuadrado alrededor de la planta a una profundidad de hasta 20 cm. El muestreo fue realizado siguiendo recomendaciones técnicas formuladas por Fernández et al., (2006). Se georeferenció con un equipo GPS, tanto la finca sometida a experimentación como la ubicación de cada planta.

##### **Puntos de muestreo:**

Se realizaron en tres fincas denominadas, cuyas coordenadas se detallan en Anexos.

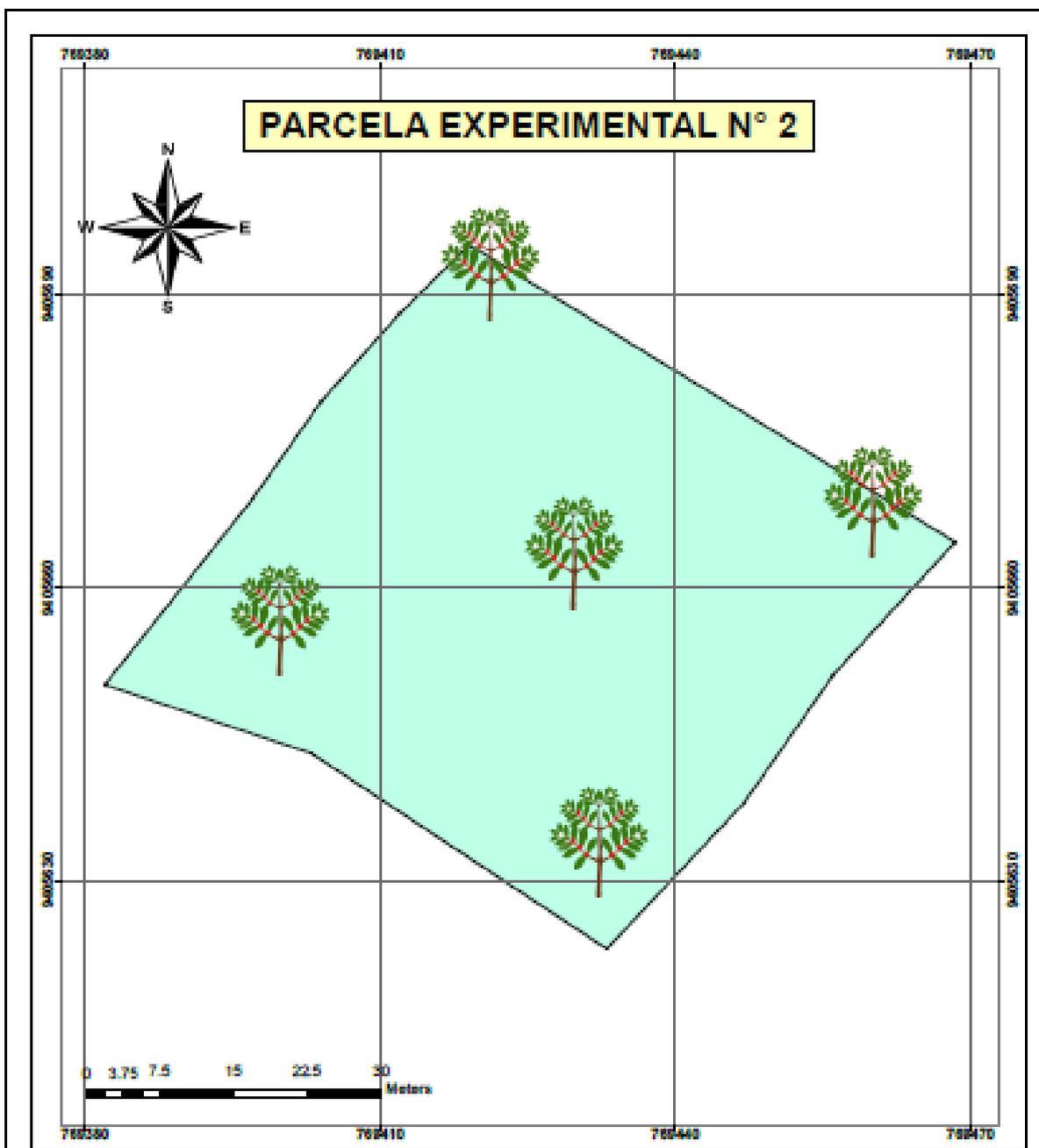
**Figura 1**

*Plano topográfico de la parcela experimental 1*



**Figura 2**

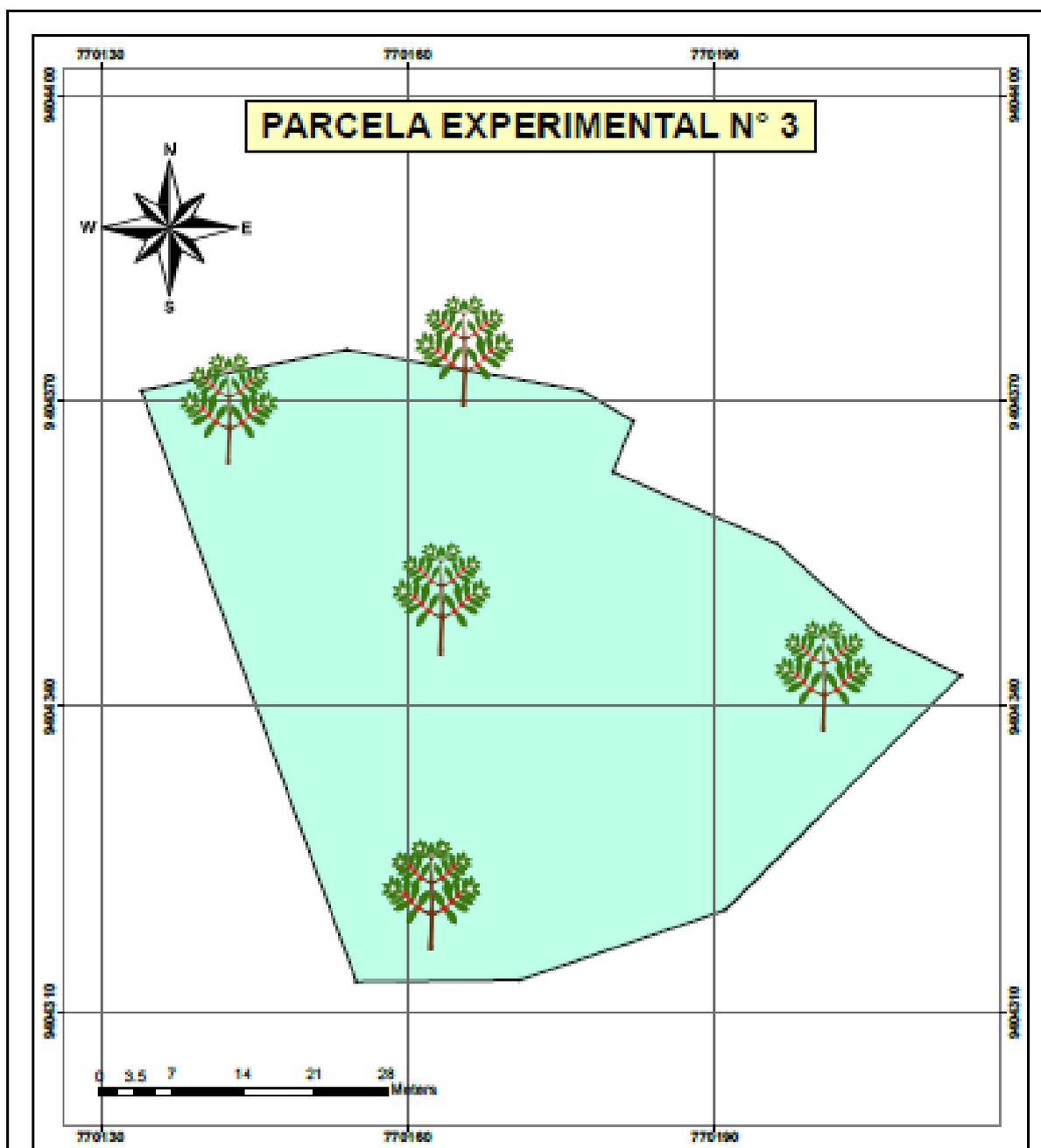
*Plano topográfico de la parcela experimental 2*



LEYENDA		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL		
	Parcela experimental	<b>TESIS:</b> Hongos micorrizicos arbusculares en plantaciones de café ( <i>Coffea arabica</i> L.) a diferentes altitudes en Shumbana - Santa Rosa - Jaén – Perú.		
	Plantas café	<b>ELABORADO:</b> Anderson Maxwell Cubas Delgado		
		<b>PLANO:</b> Parcela experimental N° 2		
		<b>PROPIETARIO:</b> Geiner Santa Cruz Hernandez		
		<b>ALTITUD:</b> 1600 msnm.	<b>AREA:</b> 0.32 Ha.	<b>FINCA:</b> "SANTA CRUZ"
		<b>DEPARTAMENTO:</b> Cajamarca	<b>PROVINCIA:</b> Jaén	
				<b>SECTOR:</b> EL TINGO

**Figura 3**

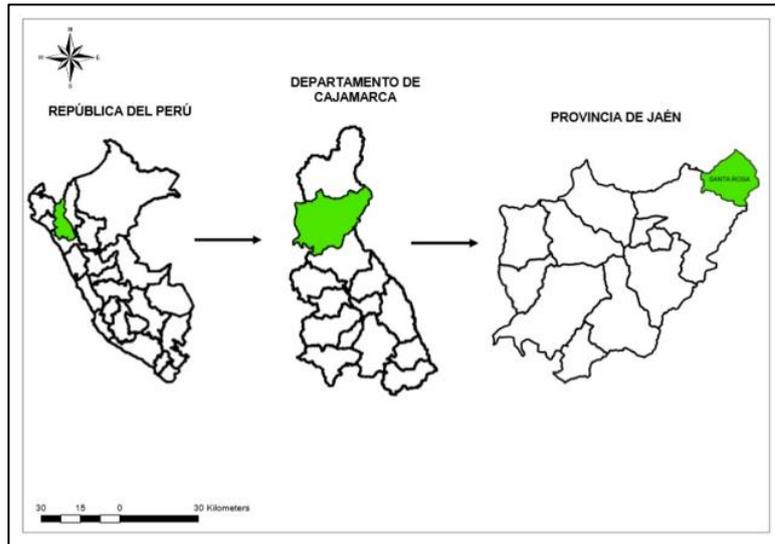
*Plano topográfico de la parcela experimental 3*



LEYENDA		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL	
	Parcela experimental	<b>TESIS:</b> Hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de café ( <i>Coffea arabica</i> L.) a diferentes altitudes en Shumbana - Santa Rosa - Jaén – Perú.	
	Plantas café	<b>ELABORADO:</b> Anderson Maxwell Cubas Delgado	
		<b>PLANO:</b> Parcela experimental N° 3	
		<b>PROPIETARIO:</b> Heyiten Esmit Suarez Rivasplata	
		<b>ALTITUD:</b> 1400 msnm.	<b>AREA:</b> 0.30 Ha.
		<b>DEPARTAMENTO:</b> Cajamarca	<b>FINCA:</b> "LAS GUABAS"
		<b>PROVINCIA:</b> Jaén	<b>SECTOR:</b> BAJO SHUMBANA
		<b>DISTRITO:</b> Santa Rosa	

**Figura 4**

*Ubicación de la zona de estudio en la provincia de Jaén*



Para acceder a la zona de estudio, se recorrió la siguiente ruta:

Jaén – Cruce de Shumba (en la actualidad es una carretera asfaltada cuya distancia entre ellas es aproximadamente de 30 kilómetros y existe un tiempo de 25 minutos entre ambas) – Puerto Hallase (en esta parte la carretera solo fue afirmada y lo une una distancia de 30 kilómetros entre ambas, a un tiempo de 35 minutos entre ambos) – C.P. Puentecillos (del mismo modo es una carretera afirmada de 35 kilómetros aproximadamente y a un tiempo de 40 minutos entre ambos) – C.P. Shumbana (similarmemente fue una carretera afirmada de 20 kilómetros aproximadamente a un tiempo de 20 minutos) – finalmente, se llegó a las parcelas de café se ubicaron a 10 minutos en carretera afirmada y que fue la zona de investigación.

**Figura 5**

*Toma de datos en la salida de campo*



### 3.2 Metodología

Se utilizó una metodología cuasi experimental, se basó en el método cuantitativo debido a que se observó numéricamente el número de esporas, el porcentaje de colonización de las raíces, identificación de morfotipos, comparación y conteo.

### **3.3 Materiales y equipos**

#### **Materiales:**

- Libreta de campo.
- Lapicero indeleble.
- Bolsas plásticas.
- Machetes.
- Pala.
- Cinta masking.
- Vestimenta para laboratorio: guantes, mandil blanco.
- Agua oxigenada ( $H_2O_2$ ).
- Azul de tripano al 0.05 %.
- Azúcar.
- Hidróxido de potasio al 10 % (KOH).
- Ácido clorhídrico 1N (HCl).
- Agua destilada.
- Lactofenol.
- Laminillas porta y cubre objetos.
- Cajas Petri.
- Estilete.
- Asa bacteriológica.
- Tubos de ensayo.
- Tamiz.
- Embudo de vidrio.
- Matraz de Erlenmeyer.
- Vasos de precipitados.
- Papel filtro.
- Agitadores de vidrio.
- Cocina eléctrica.

#### **Equipos:**

- GPS digital (*Red: GSM/GPRS*).
- Cámara fotográfica.
- Balanza de precisión (Capacidad máx.320 g, resolución 0,1 mg, plato 90 mm.).
- Refrigeradora.
- Cocina eléctrica.
- Microscopio compuesto.
- Centrifuga.

**Material biológico:**

- Suelo rizosférico de la especie *Coffea Arábica* de tres altitudes diferentes (1400, 1600 y 1800 m.s.n.m).
- Raicillas de la especie *Coffea Arábica* de tres altitudes diferentes (1400, 1600 y 1800 m.s.n.m.).

### **3.4 Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos**

La metodología consistió en dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos: Se tomó muestras de suelo (hasta 300 gramos) a una profundidad promedio de 20 cm (ubicación de la matriz radicular) por cada cafeto. Estas plantaciones de café fueron desarrolladas en condiciones altitudinales de (1 800, 1 600 y 1 400 m.s.n.m.). Cada muestra fue dividida en porciones para su observación y para la colecta de esporas. A continuación, se procedió al cumplimiento del primer objetivo de la presente investigación, mediante el cálculo de la densidad de esporas. Para ello, se tomó como muestra referencia el peso de 1 gramo de suelo. Para la dimensión de la densidad primeramente se siguió la técnica siguiente:

#### **A. Separación de esporas de hongos micorrízicos**

Las muestras se trabajaron tomando las recomendaciones formuladas por la metodología propuesta por Sieverding (1991):

- Las muestras de suelo rizosférico obtenido de cada punto fueron homogenizadas retirando restos indeseables como hojarasca, piedras y terrones, para su traslado al laboratorio de análisis biológico.
- De cada punto se tomaron tres muestras de 100 gramos (total de 300 gramos) para de esta forma realizar tres repeticiones.
- Cada muestra se depositó en un frasco de Erlenmeyer de 500 mL, agregándole 400

mL de agua potable a cada muestra, posteriormente se agito por 10 minutos.

### **Figura 6**

*Pesado y dilución de la muestra de tierra*



- La suspensión se filtró a través de un juego de tamices de 4000, 500, 250, 125 y 63  $\mu\text{m}$ . Después de la última aplicación se coloca un chorro de agua sobre el tamiz superior (4000  $\mu\text{m}$ ).

### **Figura 7**

*Adición de alcohol de ácido formalina-acético*



- El contenido del ultimo tamiz fue colocado en placas Petri debidamente codificadas y secadas al sol.

### **Figura 8**

*Observación de muestras biológicas en placas Petri.*



## **B. Centrifugación, decantación, extracción y conteo de esporas**

- De cada placa Petri se desmenuzo la tierra en partículas pequeñas, para pesar 1 g de suelo seco.

### **Figura 9**

*Pesado de un gramo de suelo seco*



- Se depositó en los tubos de centrifugación con 15 mL. de solución de sacarosa al 70 % (70 g de azúcar disuelto en 100 mL de agua destilada). Se agitó la mezcla para uniformizar los componentes.

### **Figura 10**

*Pesado de azúcar y mezclado para el centrifugado.*



- Se colocaron los tubos de centrifugación por un tiempo de 15 minutos a 2500 revoluciones por minuto, luego se retiraron cuidadosamente para no romper la interfase agua-sacarosa.

### **Figura 11**

*Operación de centrifugado*



- Se utilizó una pipeta tipo gotero de 30 cm para drenar y pasar todo el contenido sobre la superficie del papel filtro con ayuda de un embudo. Posteriormente se lavó con agua destilada eliminando la sacarosa y concentrar las esporas.

**Figura 12**

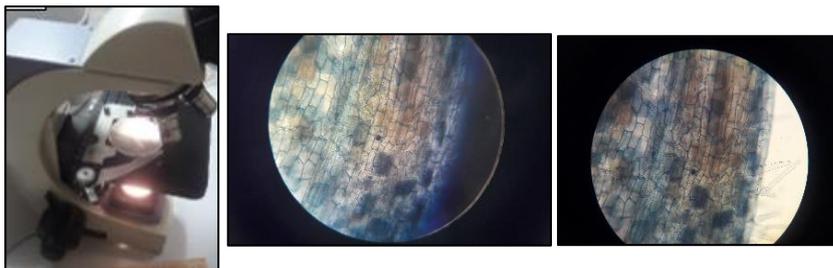
*Operación de filtrado*



- Para determinar el número de esporas se utilizó el microscopio compuesto. Para ello se colocó el papel filtro en un objeto de vidrio, haciendo el recorrido ocular por todo el papel filtro y registrando la información en un cuaderno de apuntes.

**Figura 13**

*Lecturas en microscopio compuesto*



A continuación, se procedió al cumplimiento del segundo objetivo, para ello se identificó el morfotipo a nivel de género y especies los HMA en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.) en la gradiente altitudinal de Shumbana, Santa Rosa, Jaén - Perú. Para la identificación los hongos micorrízicos arbusculares asociados se utilizó un microscopio compuesto.

- Las características morfológicas se registraron en la libreta de apuntes con las principales características morfológicas. Mediante el examen de cada forma, tamaño, color, grosor, se realizó el reconocimiento de especie, de acuerdo a la data bibliográfica de Schüßler (2010).

**Tabla 1***Filogenia y taxonomía de micorrizas arbusculares y hongos relacionados*

<b>Género - número</b>	<b>Tipo</b>
	<i>capsicula</i>
	<i>colombiana</i>
	<i>delicata</i>
	<i>denticulata</i>
	<i>dilatata</i>
	<i>elegans</i>
	<i>foveata</i>
	<i>kentinesis</i>
	<i>koskei</i>
<i>Acaulospora</i>	<i>lacunosa</i>
	<i>laevis</i>
	<i>mellea</i>
	<i>morrowiae</i>
	<i>myriocarpa</i>
	<i>rehmii</i>
	<i>rugosa</i>
	<i>scrobiculata</i>
	<i>spinosa</i>
	<i>tuberculata</i>
	<i>sporocarpia</i>
	<i>fennica</i>
<i>Ambispora</i>	<i>leptoticha</i>
	<i>gerdemannii</i>
<i>Archaeospora</i>	<i>schlenckii</i>
	<i>trappei</i>
<i>Cetraspora</i>	<i>pellucida</i>
	<i>claroideum</i>
<i>Claroideoglossum</i>	<i>etunicatum</i>
	<i>lamellosum</i>
	<i>luteum</i>
	<i>biornata</i>
	<i>erythropha</i>
<i>Dentiscutata</i>	<i>heterogama</i>
	<i>Nigra</i>
	<i>reticulata</i>
	<i>rubra</i>
<i>Dominikia</i>	<i>minutum</i>
	<i>eburnea</i>
	<i>epigaea</i>
<i>Diversispora</i>	<i>globifera</i>
	<i>Spurca</i>
	<i>tortuosa</i>
	<i>trimurales</i>
<i>Entrophospora</i>	<i>infrequens</i>

continua ...

<b>Género - número</b>	<b>Tipo</b>
<i>Epigeocarpum</i>	<i>crypticum</i> <i>caledonius</i> <i>coronatus</i>
<i>Funneliformis</i>	<i>geosporus</i> <i>mosseae</i> <i>sanmartinense</i> <i>verruculosus</i>
<i>Geosiphon</i>	<i>pyriformis</i> <i>albida</i> <i>decipiens</i>
<i>Gigaspora</i>	<i>gigantean</i> <i>margarita</i> <i>rosea</i> <i>ambisporum</i> <i>brohultii</i> <i>coremioides</i> <i>glomerulatum</i> <i>hoi</i>
<i>Glomus</i>	<i>lacteum</i> <i>multicaule</i> <i>macrocarpum</i> <i>microcarpum</i> <i>pansihalos</i> <i>clavisporum</i>
<i>Halonatospora</i>	<i>pansihalos</i>
<i>Kamienskia</i>	<i>bistratum</i>
<i>Microdominikia</i>	<i>litorea</i>
<i>Microkamienskia</i>	<i>peruviana</i>
<i>Nanoglomus</i>	<i>plukenetiae</i>
<i>Paraglomus</i>	<i>brasilianum</i> <i>Occultum</i>
<i>Polonospora</i>	<i>polonica</i> <i>castanea</i> <i>coralloidea</i>
<i>Racocetra</i>	<i>fulgida</i> <i>gregaria</i> <i>persica</i> <i>verrucosa</i> <i>aggregatus</i> <i>clarus</i> <i>diaphanus</i> <i>Populinus</i>
<i>Rhizophagus</i>	<i>intraradices</i> <i>irregularis</i> <i>fasciculatus</i> <i>manihotis</i> <i>sinuosus</i>

continua ...

<b>Género - número</b>	<b>Tipo</b>
<i>Sclerocarpum</i>	<i>amazonicum</i>
<i>Sclerocystis</i>	<i>coremioides</i>
	<i>calospora</i>
<i>Scutellospora</i>	<i>cerradensis</i>
	<i>dipurpurascens</i>
	<i>scutata</i>
<i>Septoglosum</i>	<i>constrictum</i>
	<i>deserticola</i>
	<i>viscosum</i>
<i>Silvaspora</i>	<i>neocaledonicus</i>

Fuente: Schüßler, (2010).

Para el cumplimiento del tercer objetivo se procedió a realizar la evaluación del porcentaje de colonización de los HMA en raicillas de plantaciones de café (*Coffea arabica L.*) en la gradiente altitudinal en Shumbana, Santa Rosa, Jaén - Perú. Las plantaciones de café fueron desarrolladas en condiciones naturales en el distrito Santa Rosa- Jaén. Se realizó una evaluación cualitativa y cuantitativa de los HMA en los suelos cafetaleros y en sus tres niveles de altura (1 800, 1 600 y 1 400 m.s.n.m.) y una evaluación química del pH del suelo. Se tomaron muestras de suelo de la rizosfera de hasta 10 centímetros de profundidad.

#### **Figura 14**

*Muestreo del suelo con ayuda de la pala*



- Se recogió un total de 30 raicillas de un centímetro de largo cada una.
- Las muestras se secaron ambientalmente de forma natural, por una semana y se almacenaron en bolsas plásticas debidamente selladas para su traslado al laboratorio de análisis biológico de la co-asesora Blga. Mcblga. M.C. Marcela N. Arteaga Cuba sito en la calle Huamantanga 1891.
- Las raíces se lavaron para eliminar las partículas del suelo luego se conservaron con alcohol de ácido formalina-acético (FAA).

### Figura 15

*Adición de alcohol de ácido formalina-acético.*



- Para la medición de la colonización, las raíces se aclararon en KOH al 10% (p / v) y se colocaron en un baño de agua (90 °C) durante 30 min.

### Figura 16

*Clarificación de las raíces*



- Luego se enfriaron las raíces. Se enjuagó las raíces con abundante agua fría.

### Figura 17

*Enjuague de las raíces con abundante agua fría.*



- Se tiñeron las raíces con 0.5 % (p/v) de fucsina ácida. Se tomaron 10 segmentos de raíz por lamina porta objetos, se utilizaron 03 láminas porta objetos por cada planta, en una solución de alcohol poli vinílico. Se realizó observación en el microscopio compuesto objetos 10X y 40X para comprobar la presencia de hifas, esporas y arbusculos, para ello se utilizó la técnica de determinación de colonización por campos de infección. Por cada raíz se consideró 14 campos. De acuerdo a Sieverding (1991) se tomó la fórmula para determinar el porcentaje de colonización de cada muestra:

$$\frac{(\text{Campos } +)}{(\text{Campos totales})} \times 100 = \% \text{ de colonización}$$

## IV. RESULTADOS

### a. Densidad de esporas / gramo de suelo a 1 400 m.s.n.m.

Finca: Las Guabas. Sector: Bajo Shumbana. Distrito Santa Rosa. Altitud: 1 400 m.s.n.m.  
 Área: 0.30 hectáreas. Propietario: Heyiten Esmít Suárez Rivasplata.

**Tabla 2**

*Densidad de esporas de los HMA a 1 400 m.s.n.m.*

Esporas detectadas	Cafeto	Placa Petri 1	Placa Petri 2	Placa Petri 3	Promedio Esporas / gr de suelo seco
<i>Acaulospora morrowiae</i> <i>Glomus microcarpum</i>	P-1	58	117	89	88
<i>Acaulospora morrowiae</i> <i>Glomus microcarpum</i>	P-2	45	63	57	55
<i>Glomus microcarpum</i> <i>Entrophospora infrequens</i>	P-3	54	50	62	55.3
<i>Archaeospora schenckii</i> <i>Glomus microcarpum</i>	P-4	79	62	59	66.7
<i>Glomus microcarpum</i>	P-5	61	64	114	79.7
<b><i>Promedio total</i></b>		<b>69 esporas / gramo suelo</b>			

Fuente: Datos del tesista investigador.

### b. Densidad de esporas / gramo de suelo a 1 600 m.s.n.m.

Finca: Santa Cruz. Sector: El Tingo. Distrito Santa Rosa. Altitud: 1600 m.s.n.m.  
 Área: 0.32 hectáreas. Propietario: Geiner Santa Cruz Hernández.

**Tabla 3***Densidad de esporas de los HMA a 1 600 m.s.n.m.*

<b>Esporas detectadas</b>	<b>Cafeto</b>	<b>Placa Petri 1</b>	<b>Placa Petri 2</b>	<b>Placa Petri 3</b>	<b>Promedio Esporas / gr de suelo seco</b>
<i>Funneliformis geosporus</i> <i>Glomus brohultii</i>	P-1	70	52	60	60.7
<i>Glomus microcarpum</i>	P-2	67	71	75	71
<i>Glomus brohultii</i> <i>Acaulospora morrowiae</i>	P-3	80	70	67	72.3
<i>Glomus microcarpum</i> <i>Acaulospora morrowiae</i>	P-4	53	74	80	69
<i>Glomus brohultii</i> <i>Acaulospora inmadura</i>	P-5	55	63	49	55.7
<b><i>Promedio total</i></b>		<b>66 esporas / gramo suelo</b>			

Fuente: Datos del tesista investigador.

**c. Densidad de esporas / gramo de suelo a 1 800 m.s.n.m.**

Finca: Los Cedros. Sector: Alto Shumbana. Distrito Santa Rosa. Altitud: 1800 m.s.n.m.

Área: 0.39 hectáreas. Propietario: Segundo Cabrejos Mego.

**Tabla 4***Densidad de esporas de los HMA a 1 800 m.s.n.m.*

<b>Esporas detectadas</b>	<b>Cafeto</b>	<b>Placa Petri 1</b>	<b>Placa Petri 2</b>	<b>Placa Petri 3</b>	<b>Promedio Esporas / gr de suelo seco</b>
<i>Glomus brohultii</i> <i>Entrophospora infrequens</i>	P-1	77	73	89	79.7
<i>Claroideoglopus etunicatum</i> <i>Glomus microcarpum</i>	P-2	95	91	70	85.3
<i>Glomus brohultii</i> <i>Acaulospora morrowiae</i>	P-3	81	57	64	67.3
<i>Glomus microcarpum</i> <i>Acaulospora morrowiae</i>	P-4	83	97	87	89
<i>Glomus microcarpum</i>	P-5	70	75	94	79.7
<b><i>Promedio total</i></b>		<b>80 esporas / gramo suelo</b>			

Fuente: Datos del tesista investigador.

**Resumen de género y especie de HMA:**

13 fueron de la especie *Glomus* con 59 %; 7 fueron de la especie *Acaulospora* con 32 %; 2 fueron de la especie *Entrophospora* con 9 %.

**A 1400 m.s.n.m.: total 4 especies**

1 *glomus*

1 *acualospora*

1 *Funneliformis*

1 *Archaeospora*

1 *Septoglomus*

Género *Acaulospora* y una especie *Acaulospora morrowiae*

Género *Glomus* y cinco especies *Glomus microcarpum* y una *Glomus glomerulatum*

Género *Funneliformis* y una especie *Funneliformis geosporus*

Género *Archaeospora* y una especie *Archaeospora schenckii*

**A 1600 m.s.n.m: total 5 especies**

1 *glomus*

1 *acualospora*

1 *Funneliformis*

1 *Claroideoglomus*

Género *Acaulospora* y una especie *Acaulospora morrowiae*

Género *Glomus* y dos especies *Glomus microcarpum* y *Glomus brohultii*

Género *Funneliformis* y una especie *Funneliformis geosporus*

Género *Claroideoglomus* y una especie *Claroideoglomus etunicatum*

**A 1800 m.s.n.m: total 6 especies**

1 *glomus*

1 *Funneliformis*

1 *Claroideoglomus*

Género *Glomus* y dos especies *Glomus microcarpum* y *Glomus brohultii*

Género *Acaulospora* y una especie *Acaulospora morrowiae*

Género *Entrophospora* y una especie *Entrophospora infrequens*

Género *Claroideoglomus* y una especie *Claroideoglomus etunicatum*

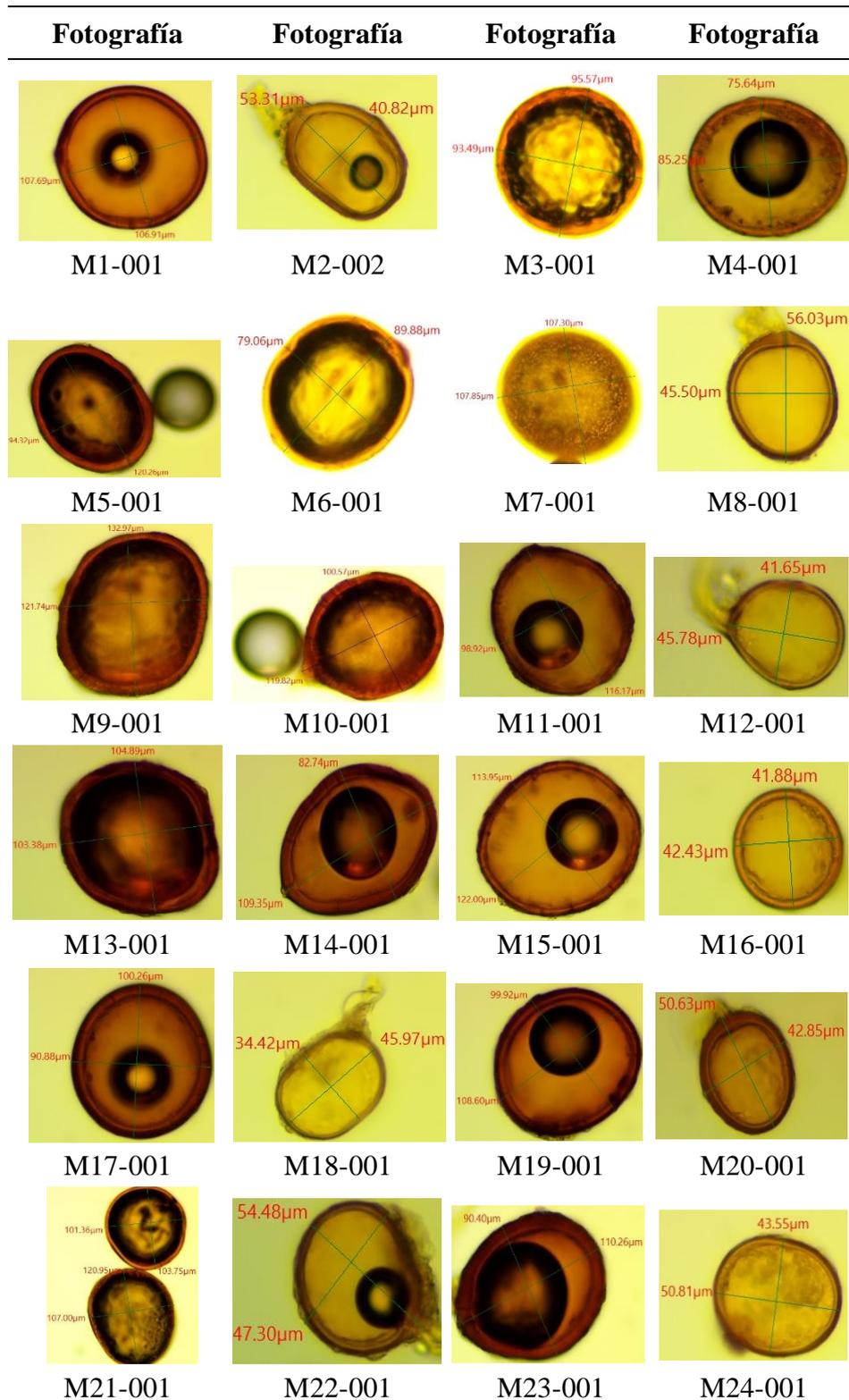
Género *Funneliformis* y una especie *Funneliformis geosporus*

**Tabla 5***Identificación de las esporas a 1 400 m.s.n.m.*

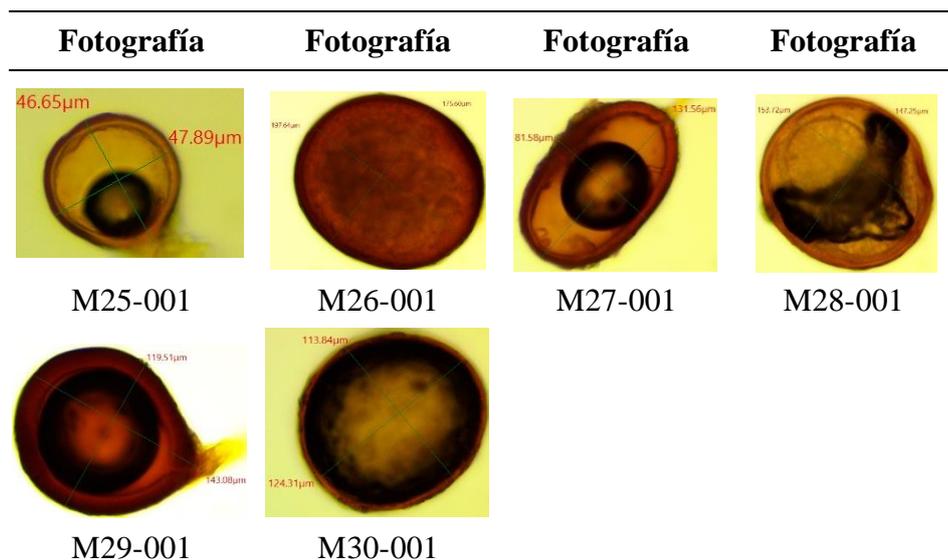
<b>Muestra</b>	<b>Especie o género de HMA</b>	<b>Comentarios</b>
M1-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M2-002	<i>Glomus microcarpum</i>	
M3-001	No identificable	Llena de aire
M4-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M5-001	No identificable	Llena de aire
M6-001	No identificable	Llena de aire
M7-001	No HMA	
M8-001	<i>Glomus microcarpum</i>	
M9-001	No identificable	Llena de aire
M10-001	No identificable	Llena de aire
M11-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M12-001	<i>Glomus microcarpum</i>	
M13-001	No identificable	Llena de aire
M14-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M15-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M16-001	<i>Glomus microcarpum</i>	
M17-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M18-001	<i>Archaeospora schenckii</i>	
M19-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M20-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M21-001	No identificable	Llena de aire
M22-001	<i>Glomus microcarpum</i>	
M23-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M24-001	<i>Acaulospora morrowiae</i>	
M25-001	<i>Glomus cinco</i>	
M26-001	No identificable	Parasitada
M27-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M28-001	No identificable	Parasitada
M29-001	<i>Septoglomus constrictum</i>	
M30-001	No identificable	Llena de aire

**Figura 18**

*Identificación al microscopio de las esporas a 1 400 m.s.n.m.*



continua ...



Fuente: Realizada por el investigador tesista.

**Tabla 6**

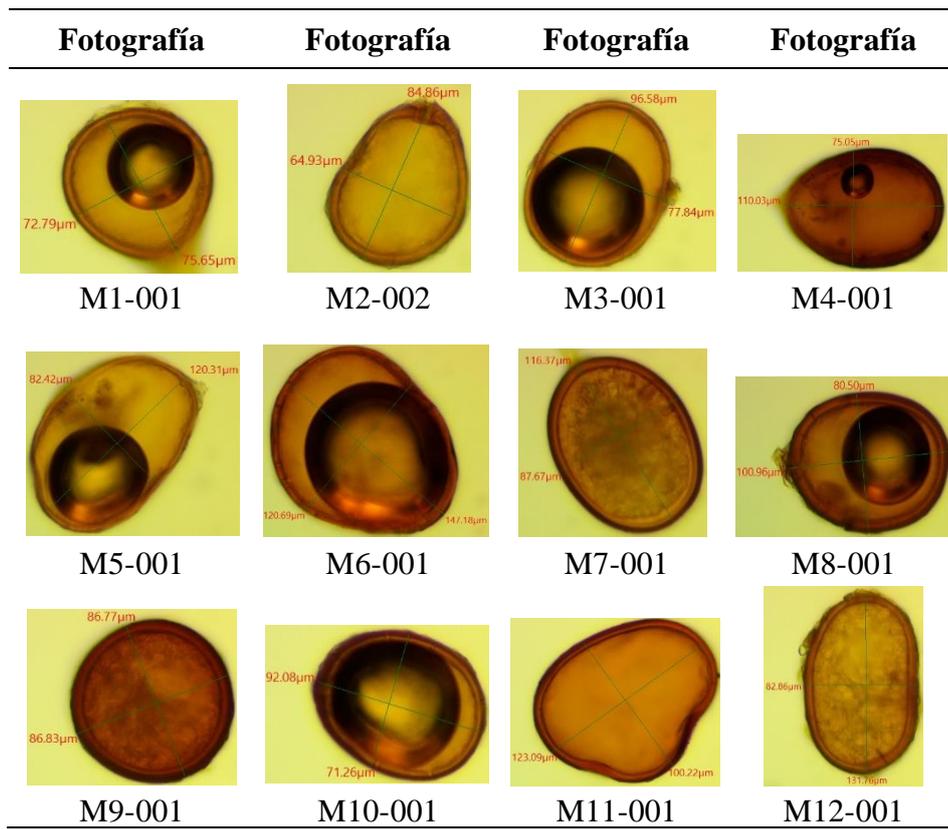
*Identificación de las esporas a 1 600 m.s.n.m.*

Muestra	Especie o género de HMA	Comentarios
M1-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M2-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M3-001	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	
M4-001	<i>Glomus brohultii</i>	
M5-001	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	
M6-001	No identificable	Espora dentro de espora
M7-001	No identificable	Parasitada
M8-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M9-001	No identificable	Parasitada
M10-001	No identificable	Espora dentro de espora
M11-001	<i>Acaulospora inmadura o espora gigasporoide sin hifa de origen</i>	
M12-001	No identificable	Parasitada

Fuente: A partir de datos por el tesista.

**Figura 19**

*Identificación al microscopio de las esporas a 1 600 m.s.n.m.*



Realizada por el investigador tesista.

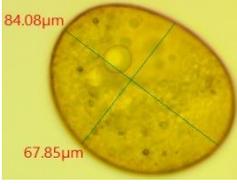
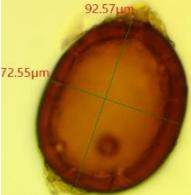
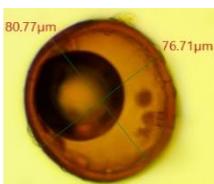
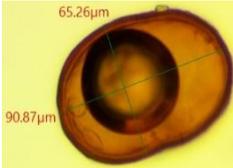
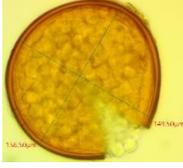
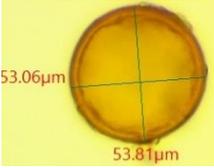
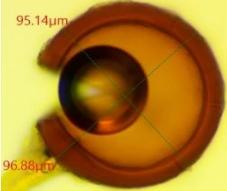
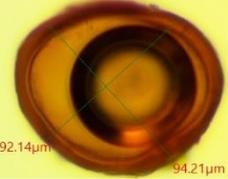
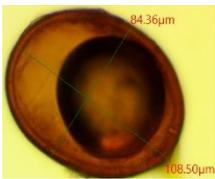
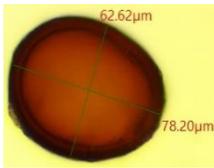
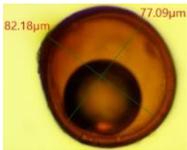
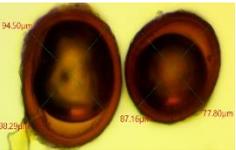
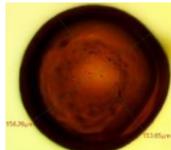
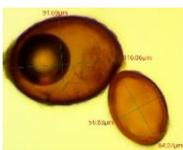
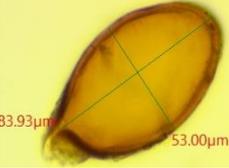
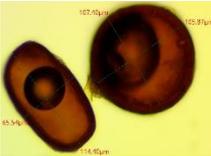
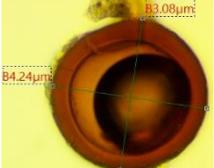
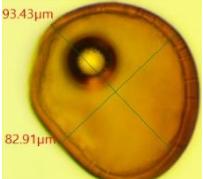
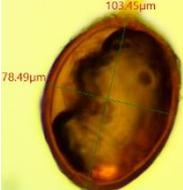
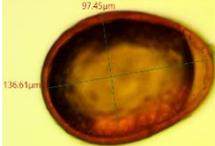
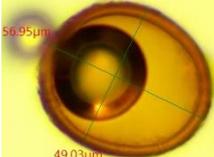
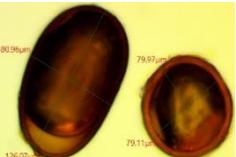
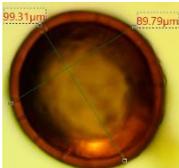
**Tabla 7***Identificación de las esporas a 1 800 m.s.n.m.*

<b>Muestra</b>	<b>Especie o género de HMA</b>	<b>Comentarios</b>
M1-001	No HMA	
M2-001	<i>Glomus brohultii</i>	
M3-001	<i>Glomus brohultii</i>	
M4-001	No identificable	Aire
M5-001	No identificable	Aire
M6-001	No identificable	Aire
M7-001	No identificable	Parasitada
M8-001	<i>Glomus microcarpum</i>	
M9-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	Aire
M10-001	No identificable	Aire
M11-001	No identificable	Aire
M12-001	<i>Glomus brohultii</i>	
M13-001	No identificable	Aire
M14-001	No identificable	Aire
M15-001	No identificable	Aire
M16-001	No identificable	Aire
M17-001	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	
M18-001	<i>Funneliformis geosporus</i>	
M19-001	No identificable	Aire
M20-001	No identificable	Aire
M21-001	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	
M22-011	No identificable	Aire
M23-001	No identificable	Aire
M24-001	No identificable	Aire
M25-001	No identificable	Aire
M26-001	No identificable	Aire
M27-001	No identificable	Aire
M28-001	No identificable	Aire

Fuente: A partir de datos por el tesista.

**Figura 20**

*Identificación al microscopio de las esporas a 1 800 m.s.n.m.*

Fotografía	Fotografía	Fotografía	Fotografía
 <p>M1-001</p>	 <p>M2-002</p>	 <p>M3-001</p>	 <p>M4-001</p>
 <p>M5-001</p>	 <p>M6-001</p>	 <p>M7-001</p>	 <p>M8-001</p>
 <p>M9-001</p>	 <p>M10-001</p>	 <p>M11-001</p>	 <p>M12-001</p>
 <p>M13-001</p>	 <p>M14-001</p>	 <p>M15-001</p>	 <p>M16-001</p>
 <p>M17-001</p>	 <p>M18-001</p>	 <p>M19-001</p>	 <p>M20-001</p>
 <p>M21-001</p>	 <p>M22-001</p>	 <p>M23-001</p>	 <p>M24-001</p>
 <p>M25-001</p>	 <p>M26-001</p>	 <p>M27-001</p>	 <p>M28-001</p>

**a. Porcentaje de colonización de los HMA a 1 400 m.s.n.m.**

Finca: Las Guabas.

Cafeto: Variedad Catimor.

Edad: 3 años.

Raíz (cm): 1

Nº raíces/lamina: 10

Nº de láminas/planta:3

Campos/planta: 420

Nº plantas/zona: 5

Zona (Campos): 2100

**Tabla 8**

*Elementos HMA en la planta de café 1, a 1 400 m.s.n.m.*

	<b>Lámina Nº 1</b>	<b>Lámina Nº 2</b>	<b>Lámina Nº 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	70	56	55	181
Hifas	50	65	66	181
Nulo	20	18	19	57
Arbúsculos	0	1	0	1

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 9**

*Elementos HMA en la planta de café 2, a 1 400 m.s.n.m.*

	<b>Lámina Nº 1</b>	<b>Lámina Nº 2</b>	<b>Lámina Nº 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	76	66	66	208
Hifas	35	45	44	124
Nulo	28	28	29	85
Arbúsculos	1	1	1	3

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 10***Elementos HMA en la planta de café 3, a 1 400 m.s.n.m.*

	<b>Lámina N° 1</b>	<b>Lámina N° 2</b>	<b>Lámina N° 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	69	62	76	207
Hifas	42	52	36	130
Nulo	28	19	28	75
Arbúsculos	1	1	0	2

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 11***Elementos HMA en la planta de café 4, a 1 400 m.s.n.m.*

	<b>Lámina N° 1</b>	<b>Lámina N° 2</b>	<b>Lámina N° 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	67	60	59	186
Hifas	46	47	55	148
Nulo	27	33	26	86
Arbúsculos	0	0	0	0

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 12***Elementos HMA en la planta de café 5, a 1 400 m.s.n.m.*

	<b>Lámina N° 1</b>	<b>Lámina N° 2</b>	<b>Lámina N° 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	61	59	47	167
Hifas	51	66	79	196
Nulo	28	15	14	57
Arbúsculos	0	0	0	0

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 13***Resumen de elementos HMA, a 1 400 m.s.n.m.*

	<b>Planta N° 1</b>	<b>Planta N° 2</b>	<b>Planta N° 3</b>	<b>Planta N° 4</b>	<b>Planta N° 5</b>	<b>Total</b>
Esporas	181	208	207	186	167	949
Hifas	181	124	130	148	196	779
Nulo	57	85	75	86	57	360
Arbúsculos	1	3	2	0	0	6

Fuente: Realizada por el tesista.

$$- \text{ \% colonización por esporas} = \frac{[\text{Esporas totales}]}{\text{Elementos totales}} \times 100$$

$$\text{ \% colonización por esporas} = (949 / 2094) * 100 = 45.3 \%$$

$$- \text{ \% colonización por hifas} = \frac{[\text{hifas totales}]}{\text{Elementos totales}} \times 100$$

$$\text{ \% colonización por hifas} = (779 / 2094) * 100 = 37.2 \%$$

$$- \text{ \% colonización por arbúsculos} = \frac{[\text{arbúsculos totales}]}{\text{Elementos totales}} \times 100$$

$$\text{ \% colonización por arbúsculos} = (6 / 2094) * 100 = 0.3 \%$$

**Tabla 14***Porcentaje (%) de colonización, a 1 400 m.s.n.m.*

<b>Especies</b>	<b>% colonización</b>
% colonización esporas	45.3
% colonización hifas	37.2
% colonización arbúsculos	0.3
<b>Total</b>	<b>82.8 %</b>

Fuente: Realizada por el tesista.

**b. Porcentaje de colonización de los HMA a 1 600 m.s.n.m.**

Finca: Santa Cruz.

Cafeto: Variedad Catimor.

Edad: 5 años.

Raíz (cm): 1

Nº raíces/lamina: 10

Nº de láminas/planta:3

Campos/planta: 420

Nº plantas/zona: 5

Zona (Campos): 2100

**Tabla 15**

*Elementos HMA en la planta de café 1, a 1 600 m.s.n.m.*

	<b>Lámina Nº 1</b>	<b>Lámina Nº 2</b>	<b>Lámina Nº 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	60	47	59	166
Hifas	60	80	71	211
Nulo	17	11	6	34
Arbúsculos	3	2	4	9

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 16**

*Elementos HMA en la planta de café 2, a 1 600 m.s.n.m.*

	<b>Lámina Nº 1</b>	<b>Lámina Nº 2</b>	<b>Lámina Nº 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	55	62	68	185
Hifas	65	62	46	173
Nulo	20	13	24	57
Arbúsculos	0	3	2	5

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 17***Elementos HMA en la planta de café 3, a 1 600 m.s.n.m.*

	<b>Lámina N° 1</b>	<b>Lámina N° 2</b>	<b>Lámina N° 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	69	50	58	177
Hifas	51	66	60	177
Nulo	16	23	20	59
Arbúsculos	4	1	2	7

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 18***Elementos HMA en la planta de café 4, a 1 600 m.s.n.m.*

	<b>Lámina N° 1</b>	<b>Lámina N° 2</b>	<b>Lámina N° 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	57	58	55	170
Hifas	66	61	60	187
Nulo	16	18	24	58
Arbúsculos	1	3	1	5

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 19***Elementos HMA en la planta de café 5, a 1 600 m.s.n.m.*

	<b>Lámina N° 1</b>	<b>Lámina N° 2</b>	<b>Lámina N° 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	61	65	69	195
Hifas	64	42	45	151
Nulo	15	32	26	73
Arbúsculos	0	1	0	1

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 20***Resumen de elementos HMA, a 1 600 m.s.n.m.*

	<b>Planta N° 1</b>	<b>Planta N° 2</b>	<b>Planta N° 3</b>	<b>Planta N° 4</b>	<b>Planta N° 5</b>	<b>Total</b>
Esporas	166	185	177	170	195	893
Hifas	211	173	177	187	151	899
Nulo	34	57	59	58	73	281
Arbúsculos	9	5	7	5	1	27

Fuente: Realizada por el tesista.

$$- \text{ \% colonización por esporas} = \frac{[\text{Esporas totales}]}{\text{Elementos totales}} \times 100$$

$$\text{ \% colonización por esporas} = (893 / 2100) * 100 = 42.5 \%$$

$$- \text{ \% colonización por hifas} = \frac{[\text{hifas totales}]}{\text{Elementos totales}} \times 100$$

$$\text{ \% colonización por hifas} = (899 / 2100) * 100 = 42.8 \%$$

$$- \text{ \% colonización por arbúsculos} = \frac{[\text{arbúsculos totales}]}{\text{Elementos totales}} \times 100$$

$$\text{ \% colonización por arbúsculos} = (27 / 2100) * 100 = 1.3 \%$$

**Tabla 21***Porcentaje (%) de colonización, a 1 600 m.s.n.m.*

	<b>% colonización</b>
% colonización esporas	42.5
% colonización hifas	42.8
% colonización arbúsculos	1.3
<b>Total</b>	<b>86.6 %</b>

Fuente: Realizada por el tesista.

**c. Porcentaje de colonización de los HMA a 1 800 m.s.n.m.**

Finca: Los Cedros.

Cafeto: Variedad Catimor.

Edad: 3 años.

Raíz (cm): 1

Nº raíces/lamina: 10

Nº de láminas/planta:3

Nº secciones de raíz totales: 30

Campos lineales por sección de raíz: 14

Campos totales observados por total de secciones radiculares: 420

Nº plantas por altitud: 5

Número total de observaciones de secciones radiculares en las 5 plantas: 2100

**Tabla 22**

*Elementos HMA en la planta de café 1, a 1 800 m.s.n.m.*

	<b>Lámina Nº 1</b>	<b>Lámina Nº 2</b>	<b>Lámina Nº 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	97	72	100	269
Hifas	30	45	16	91
Nulo	13	19	21	53
Arbúsculos	0	4	3	7

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 23**

*Elementos HMA en la planta de café 2, a 1 800 m.s.n.m.*

	<b>Lámina Nº 1</b>	<b>Lámina Nº 2</b>	<b>Lámina Nº 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	63	72	84	219
Hifas	60	42	37	139
Nulo	14	17	12	43
Arbúsculos	3	9	7	19

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 24***Elementos HMA en la planta de café 3, a 1 800 m.s.n.m.*

	<b>Lámina N° 1</b>	<b>Lámina N° 2</b>	<b>Lámina N° 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	72	81	69	222
Hifas	47	44	46	137
Nulo	17	12	23	52
Arbúsculos	4	3	2	9

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 25***Elementos HMA en la planta de café 4, a 1 800 m.s.n.m.*

	<b>Lámina N° 1</b>	<b>Lámina N° 2</b>	<b>Lámina N° 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	63	58	68	189
Hifas	57	59	59	175
Nulo	19	21	12	52
Arbúsculos	1	2	1	4

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 26***Elementos HMA en la planta de café 5, a 1 800 m.s.n.m.*

	<b>Lámina N° 1</b>	<b>Lámina N° 2</b>	<b>Lámina N° 3</b>	<b>Total</b>
Esporas	64	62	56	182
Hifas	53	59	66	178
Nulo	22	18	17	57
Arbúsculos	1	1	1	3

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 27***Resumen de elementos HMA, a 1 800 m.s.n.m.*

	<b>Planta N° 1</b>	<b>Planta N° 2</b>	<b>Planta N° 3</b>	<b>Planta N° 4</b>	<b>Planta N° 5</b>	<b>Total</b>
Esporas	269	219	222	189	182	1081
Hifas	91	139	137	175	178	720
Nulo	53	43	52	52	57	257
Arbúsculos	7	19	9	4	3	42

Fuente: Realizada por el tesista.

$$- \quad \% \text{ colonización por esporas} = \frac{[\text{Esporas totales}]}{\text{Elementos totales}} \times 100$$

$$\% \text{ colonización por esporas} = (1081 / 2100) * 100 = 51.4 \%$$

$$- \quad \% \text{ colonización por hifas} = \frac{[\text{hifas totales}]}{\text{Elementos totales}} \times 100$$

$$\% \text{ colonización por hifas} = (720 / 2100) * 100 = 34.3 \%$$

$$- \quad \% \text{ colonización por arbúsculos} = \frac{[\text{arbúsculos totales}]}{\text{Elementos totales}} \times 100$$

$$\% \text{ colonización por arbúsculos} = (42 / 2100) * 100 = 2.0 \%$$

**Tabla 28***Porcentaje (%) de colonización, a 1 800 m.s.n.m.*

	<b>% colonización</b>
% colonización esporas	51.4
% colonización hifas	34.3
% colonización arbúsculos	2.0
<b>Total</b>	<b>87.7 %</b>

Fuente: Realizada por el tesista.

**Tabla 29***Porcentaje de colonización versus número de especies HMA*

	<b>Altura 1400 m.s.n.m.</b>	<b>Altura 1600 m.s.n.m.</b>	<b>Altura 1800 m.s.n.m.</b>
Esporas	949	893	1081
Hifas	779	899	720
Nulo	360	281	257
Arbúsculos	6	27	42
Porcentaje de colonización	82.8 %	86.6 %	87.7 %

Fuente: Realizada por el tesista.

**Análisis estadístico:**

Datos/VARIABLES:

1400 msnm

1600 msnm

1800 msnm

**Tabla 30***Análisis de varianza para la densidad de esporas, por altitud*

<b>Variable</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media de cuadrados</b>	<b>Estadístico F</b>	<b>p valor</b>
Altitud	2	1,732.31	866.16	3.63	0.0353

**Análisis:**

En la tabla 31, se tienen los resultados del análisis de varianza aplicados a las densidades de esporas de HMA en los tres tipos de altitud. Considerando un nivel de significancia del 5%, se puede ver que existen diferencias significativas entre las densidades ( $p \text{ valor} = 0.0353 < 0.05$ ) de los pisos altitudinales.

**Tabla 31***Análisis de varianza para los elementos HMA en plantas, por altitud*

Variable	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Estadístico F	p valor
Elemento	3	346,850.20	115,616.73	225.488	0.0000
Altitud	2	1.20	0.60	0.001	0.9988

### *Análisis*

En la tabla 31 se tienen los resultados del análisis de varianza aplicados a los porcentajes de colonización en los distintos pisos altitudinales, según los elementos estudiados. Considerando un nivel de significancia del 5%, se puede ver que entre los tres niveles de altitud no existe diferencias significativas de los porcentajes de colonización ( $p \text{ valor} = 0.9988 > 0.05$ ).

### **Tabla 32**

*Grupos similares. Prueba Post hoc de Tukey para la densidad de esporas, por altitud*

Altitud	Promedio	Grupos
1800 msnm	80.20	a
1400 msnm	68.93	a b
1600 msnm	65.73	b

Fuente: Statgraphics Centurion XIX.

### **Análisis:**

Posterior al análisis de varianza aplicado a las densidades de esporas de los HMA, se lleva a cabo la prueba de Tukey para determinar entre que altitudes se dan las diferencias. En la tabla 33, se pueden ver los resultados de la prueba de Tukey, en el que se tiene que las diferencias significativas se dan entre las densidades de esporas presentes a 1800 msnm y a 1600 msnm

## V. DISCUSIÓN

Mediante la presente investigación se evaluó la presencia a nivel de género y especies de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el suelo de cultivos del café (*Coffea arabica*) en el distrito Santa Rosa-Jaén. A una altitud 1 400 m.s.n.m. identificaron hongos micorrízicos arbusculares (HMA) *Funneliformis geosporus*, *Acaulospora morrowiae*, *Glomus glomerulatum*, *Funneliformis geosporus* y *Septoglomus constrictum*. A la altitud 1 600 m.s.n.m. identificaron *Funneliformis geosporus*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Glomus brohultii* y *Acaulospora inmadura* y a los 1 800 m.s.n.m. se identificaron *Glomus brohultii*, *Funneliformis geosporus* y *Claroideoglomus etunicatum*. Cuando se realizó la cuantificación del volumen biológico por piso altitudinal, se encontró que a 1 400 m.s.n.m. se tuvo mayor promedio con 88 esporas *Glomus microcarpum* y *Acaulospora morrowiae*/gramo de suelo. A 1 600 m.s.n.m. se tuvo el mayor promedio con 72.3 esporas *Glomus brohultii* y *Acaulospora morrowiae*/gramo de suelo y finalmente, a 1 800 m.s.n.m. se tuvo el mayor promedio con 89 esporas *Acaulospora morrowiae* y *Funneliformis geosporu*/gramo de suelo.

En cambio, Urgiles et al (2020) encontró especies del género *Glomus*, tres morfotipos y 284 esporas/100 g suelo, mientras que en las zonas de Chaguarpamba y Lozumbe, identificó el género *Acaulospora*, con un morfotipo; y, el género *Glomus*, con tres morfotipos. Además, para Chaguarpamba y Lozumbe encontraron 313 y 598 esporas/100 g de suelo, respectivamente. En tanto que, Rengifo (2020) investigó comunidades de hongos micorrízicos arbusculares asociadas a plantas de *Coffea arabica* de edades y características de suelo en la región San Martín. Sus resultados determinaron un alto porcentaje de colonización micorrízica en plantas mayores de 3 años; sus resultados coincidieron con esta investigación al reportar comunidades de hongos micorrízicos arbusculares, conformadas por familias *Acaulosporaceae* y *Glomeraceae* e influenciadas por variables ambientales y edad. Por su parte, Bertolini et al (2020) reportó en sus resultados el registro de 10 géneros y 27 morfoespecies de hongos micorrízicos arbusculares. La abundancia la estimó en un rango de 55 a 198 esporas en 100 g de suelo. El *Acaulospora* fue el género más frecuente. Otra de las investigaciones relacionadas con la presente investigación fue enunciada por Aliasgharзад et

al (2001) cuando reportaron niveles de salinidad del suelo oscilan entre 7,3 y 92,0 dS/m, como posible relación con la presencia y abundancia de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la llanura de Tabriz. Concluyó que el número de esporas de HMA no se correlacionó significativamente con la salinidad del suelo, sin embargo, reconoció efectos adversos por la acumulación de algunos aniones y cationes en el suelo fértil cafetalero. Por otra parte, cuando en la presente investigación se evaluó el porcentaje de colonización, se encontró que el mayor porcentaje fue encontrado a 1800 m.s.n.m. con un 87.7 % (formación de 1081 esporas, 720 hifas y 42 arbusculos), el segundo lugar fue para la colonización fue a 1600 msnm con un 86.6 % (formación de 893 esporas, 899 hifas y 27 arbusculos) y en tercer lugar se tuvo la menor colonización de esporas a 1400 msnm con un 82.8 % (formación de 949 esporas, 779 hifas y 6 arbusculos).

Uno de los puntos interesantes fue expuesto por Bertolini et al (2020) cuando afirmó que la disponibilidad del  $\text{PO}_4^{-3}$  estuvo relacionado con la acidez del suelo, parámetro que podría regular la diversidad de los hongos micorrízicos arbusculares en *Coffea arabica*, así como favorecer la presencia de HMA específicos en estas condiciones edáficas. Inclusive afirmó que, las especies de *Acaulospora* y los géneros sólo registrados en *Coffea arabica* podrían conformar bio-fertilizantes para su cultivo. En este sentido, Rengifo (2020) reportó que el limo del suelo tuvo una correlación positiva media con el porcentaje de colonización micorrízica, en cambio, el porcentaje de colonización micorrízica tuvo una correlación negativa con los parámetros de suelo como pH, conductividad eléctrica, fósforo, potasio, capacidad de intercambio catiónico,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ , suma de cationes, suma de bases y porcentaje de saturación de bases lo que implicó que cuando estas variables disminuyeron, la colonización micorrízica aumentó en su concentración. A su vez, Aliasgharad et al (2001) reportó que en su análisis de matrices de correlación encontró que la colonización de raíces, el pH del suelo, el porcentaje de arena y arcilla y el P disponible en el suelo, en lugar de la salinidad del suelo y las concentraciones de iones, estaban estrechamente relacionados con el número de esporas. Respecto, a la metodología Bertolini et al (2020) utilizó similares procedimientos al evaluar las esporas de HMA, cuando fueron extraídas por tamizado húmedo y decantación, y montadas en alcohol polivinílico en lactoglicerol, con y sin reactivo Melzer. Resaltó una bajo niveles de materia orgánica y la presencia de  $\text{PO}_4^{-3}$  en el suelo, le sugirió una fertilización inadecuada de los cafetales en estudio.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- Se identificaron especies hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el perímetro del distrito de Santa Rosa, en la provincia de Jaén a diferente altitud. A 1 400 m.s.n.m. se identificaron *Funneliformis geosporus*, *Acaulospora morrowiae*, *Glomus glomerulatum*, *Funneliformis geosporus* y *Septoglomus constrictum*; a 1 600 m.s.n.m. se identificaron *Funneliformis geosporus*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Glomus brohultii* y *Acaulospora inmadura* y a 1 800 m.s.n.m. se identificaron *Glomus brohultii*, *Funneliformis geosporus* y *Claroideoglomus etunicatum*.
- Al realizar una cuantificación del volumen biológico por piso altitudinal, se encontró que a 1 400 m.s.n.m. se halló el mayor promedio con 88 esporas *Glomus microcarpum* y *Acaulospora morrowiae*/gramo de suelo. A 1 600 m.s.n.m. se determinó el mayor promedio con 72.3 esporas *Glomus brohultii* y *Acaulospora morrowiae*/gramo de suelo y a 1 800 m.s.n.m. se determinó el mayor promedio con 89 esporas *Acaulospora morrowiae* y *Funneliformis geosporu*/gramo de suelo.
- Identificados los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se encontró que el mayor porcentaje de colonización fue a 1800 m.s.n.m. con un 87.7 % (formación de 1081 esporas, 720 hifas y 42 arbusculos), el segundo lugar para la colonización fue a 1600 m.s.n.m. con un 86.6 % (formación de 893 esporas, 899 hifas y 27 arbusculos) y en tercer lugar se determinó la menor colonización de esporas a 1400 m.s.n.m. con un 82.8 % (formación de 949 esporas, 779 hifas y 6 arbusculos).

**Recomendaciones:**

- Recomendar a los caficultores promover el cultivo de café a 1 800 m.s.n.m. por ser un piso ecológico con mayor número de colonización de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) cuya existencia en el suelo es muy beneficioso para el proceso de mineralización de la materia orgánica edáfica. Y aquellos caficultores que tienen sus cultivos cafetaleros a 1 400 m.s.n.m. se les recomendaría instalar un riego por aspersión a efecto de asegurar la humedad del suelo y la consiguiente proliferación de la colonización de hongos micorrízicos arbusculares (HMA).
- Recomendar a la Universidad Nacional de Jaén, a través de la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, el promover la investigación científica con el estudio de la problemática relacionada con la actividad agrícola o forestal para evitar el uso indiscriminado de fertilizantes químicos con el deseo de incrementar su productividad que con el tiempo afecten la calidad del suelo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliasghar zad, N., Rastin, S. N., Towfighi, H. & Alizadeh, A. (2001). Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. *Mycorrhiza*. 2001. Aug;11(3):119-122.
- Bertolini, V., Montaña, N. M., Salazar, B. L., Chimal, E., y Varela, L. (2020). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en plantaciones de café (*Coffea arabica*) del volcán Tacaná, Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana* 127: e1602. DOI: 10.21829/abm1 27.2020.1602.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2015).
- Fernández, L.C, Rojas, N.G., Roldán, T. G., Ramírez, M. E., Zegarra, H. G., Uribe, R., Reyes, R. J., Flores, D. y Arce, J. M. (2006). Manual de técnicas de suelos. Instituto Mexicano de Petróleo. Instituto Nacional de Ecología. México. Pág. 13-19. ISBN 968-489-039-7.
- Hartmann, A. Rothballer, M. & Schmid, M. (2008). Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. *Plant and Soil* 312(1):7-14
- Herrera-Peraza, R.A., Furrázola, E., Ferrer, R.L., Fernández, R. & Torres, Y. (2004). Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 35(2): 113-123.
- Philippot, L.; Raaijmakers, J.; Lemanceau, P. & Van Der Putten, W. (2013). Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nat Rev Microbiol*. s.p.
- Prieto-Benavides, O. O; Belezaca-Pinargote, C. E., Mora-Silva, W. F., Garcés-Fiallos, F. R., Sabando-Ávila, F. A., Cedeño-Loja, P. E. (2012). *Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en sistemas agroforestales con cacao en el trópico húmedo ecuatoriano. Tesis de Ingeniería Forestal*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. *Agronomía Mesoamericana* 23(2):233-239. 2012. ISSN: 1021-7444. Recuperado de: [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v23n02\\_0233.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v23n02_0233.pdf)

- Rengifo, S. (2020). *Identificación y comparación molecular de comunidades de hongos micorrízicos arbusculares asociados a Coffea arabica L. de diferentes edades y características de suelo en la región San Martín*. Tesis para optar el título profesional de Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo.  
<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/18307/Rengifo%20De%20Agui%20Sof%20C3%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Schüßler, W. C. (2010). The Glomeromycota. A species list with new families and new genera. In: Arthur Schüßler & Christopher Walker, Gloucester. Published in December 2010 in libraries at The Royal Botanic Garden Edinburgh, The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich and Oregon State University. Electronic version freely available online at [www.amf-phylogeny.com](http://www.amf-phylogeny.com).
- Sieverding, E. (1991). Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, federal Republic of Germany. 371 p.
- Torres-Arias, Y.; Ortega-Fors, R.; González González, S. y Furrázola G, E. (2015). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares (Glomeromycota) en bosques semicaducifolios de la Ciénaga de Zapata, Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional*. Vol. 36, 195-200. *Instituto de Ecología y Sistemática, La Habana, Cuba*.
- Urgiles, N., Guachanamá, J., Granda, I., Robles, A., Encalada, M., Loján, P., Avila, M. E., Hurtado, L., Poma, N., Collahuazo, Y., Araujo, S. y Quichimbo, L. (2020). Caracterización morfológica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales de la provincia de Loja, Ecuador. *Revista Bosques Latitud Cero Vol. 10 (2) julio-diciembre 2020*.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Angélica y Ricardo y a mi hermana Luz Angélica, por su apoyo económico y moral para desarrollar el presente trabajo de investigación.

A mi amada Fiorella Esther y a mi retoño Angélica Aytana Guadalupe por darme amor y paciencia para culminar esta investigación.

A mis asesores Dr. Segundo Vergara Medrano y Blga. Mcblga. Marcela N. Arteaga Cuba por su apoyo durante la investigación.

A la Universidad Nacional de Jaén por formarme como profesional.

Anderson Maxwell

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Angélica y Ricardo por su apoyo incondicional y por no descansar hasta verme profesional, sin ellos no lo lograría.

A mi hermana Luz Angélica por trajinar conmigo en esta vida, por su compañía y apoyo

A mi amada Fiorella por su cariño, amor y comprensión  
A mi hija Angélica Aytana Guadalupe, por ser mi orgullo, mi motivación para lograr metas

Anderson Maxwell

## **ANEXOS**

**Tabla 33***Coordenadas UTM de la parcela experimental 1 a 1 800 m.s.n.m.*

<b>Coordenadas UTM de cada vértice de la parcela</b>	<b>Coordenadas UTM de cada planta</b>
<b>Punto 1:</b> 17M0768136 9407467	<b>Punto 1:</b> 17M0768165 9407426
<b>Punto 2:</b> 17M0768179 9407481	<b>Punto 2:</b> 17M0768174 9407447
<b>Punto 3:</b> 17M0768199 9407489	<b>Punto 3:</b> 17M0768215 9407423
<b>Punto 4:</b> 17M0768208 9407463	<b>Punto 4:</b> 17M0768196 9407483
<b>Punto 5:</b> 17M0768220 9407418	<b>Punto 5:</b> 17M0768149 9407464
<b>Punto 6:</b> 17M076818 9407418	----
<b>Punto 7:</b> 17M0768160 9407419	----

Fuente: Elaboración del tesista.

Parcela experimental 1.

Ubicación: Distrito Santa Rosa. CP. Shumbana.

Área: 0.39 hectáreas.

Altitud: 1800 msnm.

Propietario: Segundo Cabrejos Mego.

**Tabla 34***Coordenadas UTM de la parcela experimental 2 a 1 600 m.s.n.m.*

<b>Coordenadas UTM de cada vértice de la parcela</b>		<b>Coordenadas UTM de cada planta</b>	
<b>Punto 1:</b>	17M0769419 9405695	<b>Punto 1:</b>	17M0769422 9405686
<b>Punto 2:</b>	17M0769412 9405688	<b>Punto 2:</b>	17M0769400 9405647
<b>Punto 3:</b>	17M0769404 9405679	<b>Punto 3:</b>	17M0769438 9405628
<b>Punto 4:</b>	17M0769397 9405669	<b>Punto 4:</b>	17M0769432 9405658
<b>Punto 5:</b>	17M0769382 9405650	<b>Punto 5:</b>	17M0769462 9405665
<b>Punto 6:</b>	17M0769403 9405643	----	----
<b>Punto 7:</b>	17M0769433 9405623	----	----
<b>Punto 8:</b>	17M0769447 9405638	----	----
<b>Punto 9:</b>	17M0769456 9405651	----	----

Fuente: Elaboración del tesista.

Parcela experimental 2:

Ubicación: Distrito Santa Rosa. CP. Shumbana.

Área: 0.32 hectáreas.

Altitud: 1600 msnm.

Propietario: Geiner Santa Cruz Hernández

**Tabla 35***Coordenadas UTM de la parcela experimental 3 a 1 400 m.s.n.m.*

<b>Coordenadas UTM de cada vértice de la parcela</b>		<b>Coordenadas UTM de cada planta</b>	
<b>Punto 1:</b>	17M0770154 9404375	<b>Punto 1:</b>	17M0770143 9404364
<b>Punto 2:</b>	17M0770134 9404371	<b>Punto 2:</b>	17M0770163 9404346
<b>Punto 3:</b>	17M0770155 9404313	<b>Punto 3:</b>	17M0770163 9404318
<b>Punto 4:</b>	17M0770167 9404324	<b>Punto 4:</b>	17M0770202 9404338
<b>Punto 5:</b>	17M0770191 9404320	----	----
<b>Punto 6:</b>	17M0770214 9404343	----	----
<b>Punto 7:</b>	17M0770206 9404347	----	----
<b>Punto 8:</b>	17M0770196 9404356	----	----
<b>Punto 9:</b>	17M0770182 9404368	----	----
<b>Punto 10:</b>	17M0770177 9404371	----	----
<b>Punto 11:</b>	17M0770180 94004363	----	----

Fuente: Elaboración del tesista.

Parcela experimental 3:

Ubicación: Distrito Santa Rosa. CP. Shumbana.

Área: 0.3 hectáreas.

Altitud: 1400 msnm.

Propietario: Heyiten Esmi Suarez Rivasplata