



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

Propagación y caracterización morfológica de consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) provenientes de cafetales de sistemas agroforestales (SAF) de la provincia de Loja.

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma

AUTORA:

Luz Florencia Cabrera Cabrera

DIRECTORA:

Ing. Narcisa de Jesús Urgiles Gómez PhD.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 18 de agosto de 2022

Ing. Narcisa de Jesús Urgiles Gómez PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Propagación y caracterización morfológica de consorcios nativos de hongos micorrízicos arbúsculares (Hma) provenientes de cafetales de sistemas agroforestales (Saf) de la provincia de Loja** de autoría de la estudiante **Luz Florencia Cabrera Cabrera**, con **cédula de identidad Nro. 1150589487**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado digitalmente por:
**NARCISA DE
JESUS URGILES
GOMEZ**

Ing. Narcisa de Jesús Urgiles Gómez PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Luz Florencia Cabrera Cabrera**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 1150589487

Fecha: 19, de julio del 2023

Correo electrónico: luz.f.cabrera@unl.edu.ec

Teléfono: 099 375 1320

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Luz Florencia Cabrera Cabrera**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Propagación y caracterización morfológica de consorcios nativos de hongos micorrízicos arbúsculares (Hma) provenientes de cafetales de sistemas agroforestales (Saf) de la provincia de Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrónoma** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diecinueve días del mes de julio del dos mil veintitrés.

Firma: 

Autor: Luz Florencia Cabrera Cabrera

Cédula: 1150589487

Dirección: Loja

Correo electrónico: luz.f.cabrera@unl.edu.ec

Celular: 099 375 1320

DATOS COMPLEMENTARIOS

Directora del Trabajo de Integración Curricular

Ing. Narcisa de Jesús Urgiles Gómez PhD.

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado con esmero y bienestar primeramente a Dios, por darme la bendición de la vida y nuevo despertad cada mañana.

A mis amados padres Oswaldo Cabrera y Rosa Cabrera quienes siempre confiaron en mí, y en mi capacidad de llegar a cumplir mis metas, por estar a mi lado apoyarme día tras día y nunca dejarme solo en una etapa más de mi vida.

A mis hermanos (as) Hugo, German, Leonardo, Oswaldo, Marlene, Elisa, quienes estuvieron a mi lado dándome una palabra de aliento, despejando dudas y sobre todo compartiendo conocimientos que nos enriquecían día a día. Para ustedes va este trabajo con mucho amor, dedicación y sobre todo mucho esfuerzo.

Luz Florencia Cabrera Cabrera

Agradecimiento

Expreso mi eterna gratitud a Dios, a mi familia y en especial a mis padres por su apoyo y dedicación.

Mi agradecimiento eterno a mi tutora del Trabajo de Integración Curricular Ing. Narcisa de Jesús Urgiles Gómez PhD. Docente investigadora de la UNL, por ayudarme en este trayecto difícil de mi vida académica, por despejar mis dudas y sobre todo por compartir sus conocimientos y contribuir a mi formación profesional.

Agradezco eternamente a mis queridos padres Rosa y Oswaldo que por su diario sacrificio me han podido brindar lo más importante para mí, los buenos valores y la mejor educación, lo que me ha llevado a ser una persona de bien y servidora de la comunidad

Finalmente, expreso mi gratitud a todas las personas que de una u otra manera colaboraron para la realización de nuestra investigación.

Luz Florencia Cabrera Cabrera

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras	ix
Índice de anexos	x
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Generalidades de los Hongos Micorrízicos.....	6
4.2. Tipos de Hongos Micorrízicos.	6
4.3. Taxonomía de los Hongos Micorrízicos Arbusculares	7
4.4. Simbiosis planta-hongo	8
4.5. Ciclo de vida de HMA	8
4.6. Mecanismos y proceso de colonización	9
4.7. Estructura de los HMA.....	9
4.7.1. Esporas	9
4.8. Fenología.....	11
5. Metodología	12
5.1. Ubicación geográfica de las áreas de colecta	12
5.2. Método de investigación	12
5.3. Diseño experimental.....	12
5.4. Metodología General.....	14
5.4.1. Fase de laboratorio	14
5.5. Metodología para el primer objetivo	15
5.5.1. Colecta de sustrato o inóculo de HMA	15

5.5.2.	Multiplicación de inóculo de HMA (Cultivos trampa en plantas de maíz).	16
5.5.3.	Biomasa seca foliar de las plantas trampa de maíz (<i>Zea mays</i>).....	16
5.5.4.	Biomasa radicular de las plantas trampa de maíz (<i>Zea mays</i>)	16
5.6.	Metodología para el segundo objetivo	17
5.6.1.	Aislamiento de HMA	17
5.6.2.	Caracterización morfológica de HMA.....	18
5.6.3.	Cuantificación de colonias de HMA en 100 g de suelo.....	18
5.6.4.	Establecer el consorcio de HMA de los diferentes tratamientos	18
5.7.	Análisis estadístico.....	18
6.	Resultados.....	19
6.1.1.	Aislamiento de hongos micorrízicos arbúsculares de sistemas agroforestales de café 19	
6.1.2.	Biomasa seca foliar y radicular de las plantas trampa (maíz).....	19
6.1.3.	Caracterización morfológica de morfoespecie de HMA.....	20
7.	Discusión.....	24
8.	Conclusiones.....	27
9.	Recomendaciones.....	28
10.	Bibliografía.....	29
11.	Anexos.....	36

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de los HMA con base en Schüßler y Walker (2010)	7
Tabla 2. Descripción de los tratamientos según las áreas de colecta de las fuentes de inóculo de HMA de la provincia de Loja, Ecuador.	12
Tabla 3. Áreas de colecta de las fuentes de inóculo de HMA de la provincia de Loja, Ecuador.	14
Tabla 4. Aislamientos de morfoespecie de HMA en 100 g de suelo de sistemas agroforestales de café.	19
Tabla 5. Características morfológicas de morfoespecie de HMA asociados al cultivo del café	23

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación espacial de las áreas de colecta de las fuentes de inóculo de HMA en la provincia de Loja.	12
Figura 2. Esquema del diseño experimental (DCA)	14
Figura 3: Biomasa radicular de plantas de maíz a los 60 ddt de cada tratamiento.	20
Figura 4. Caracterización morfológica de HMA de las áreas de colecta de las fuentes de inóculo de HMA de la provincia de Loja, Ecuador. <i>Glomus</i> spp (A, B, C, E, G, H, I, K, N, Ñ, O), <i>Acualospora</i> spp (D, M), <i>Scutellospora</i> spp (F) y <i>Gigaspora</i> spp (J). Imágenes a escala de 40X	22

Índice de anexos

Anexo 1. Multiplicación de inóculo y/o biofertilizante de HMA (Cultivos trampa en plantas de maíz).....	36
Anexo 2. Análisis de la biomasa foliar y radicular de las plantas de maíz (<i>Zea mays</i>) de los cinco sistemas agroforestales Malacatos (Hacienda Cristal), Chaguarpamba, Lozumbe, Zapotepamba y la Argelia de la provincia de Loja.	36
Anexo 3. Tamizado de muestras de suelo procedentes de los sistemas agroforestales. Laboratorio de Fisiología Vegetal. FARNR	37
Anexo 4. Análisis de varianza y test de Tukey para la variable biomasa foliar ($p>0,05$)	37
Anexo 5. Análisis de varianza y test de Tukey para la variable biomasa radicular ($p>0,05$).37	
Anexo 6. Poster científico: Diversidad de Hongos Micorrízicos Arbúsculares en sistemas agroforestales asociados al cultivo de café en la provincia de Loja. Presentación en el SIMPOSIO Ecuatoriano-Alemán. Diversidad frente al cambio global: consecuencias para los ecosistemas. Desarrollado el 30 y 31 de marzo de 2023, en la Universidad Técnica Particular de Loja.....	38
Anexo 7. Tríptico divulgativo sobre: Propagación y caracterización morfológica de consorcios nativos de Hongos Micorrízicos Arbúsculares (HMA) provenientes de cafetales de sistemas agroforestales (SAF) de la provincia de Loja. Día de campo para la socialización de resultados	40
Anexo 8. Certificación de traducción del abstract.....	41

1. Título

Propagación y caracterización morfológica de consorcios nativos de hongos micorrízicos arbúsculares (HMA) provenientes de cafetales de sistemas agroforestales (SAF) de la provincia de Loja.

2. Resumen

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son un grupo de microorganismos simbióticos con plantas superiores que proporcionan un vínculo entre el suelo y las raíces de las plantas, mismos que son de gran importancia en la formación y estabilización de los agregados del suelo. Establecen procesos simbióticos con el 80% de las familias de las plantas terrestres; el hongo permite mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes del suelo, evita la acción de microorganismos patógenos en la raíz. Los HMA son propagados en las plantas hospederas, una de las plantas más utilizada es el maíz (*Zea mays*), misma que presenta un tipo de raíz fasciculada que permite utilizar como planta huésped en cultivos trampa para masificar el número de esporas y realizar consorcios de microorganismos nativos de HMA benéficos provenientes de diferentes zonas de la provincia de Loja. Esta investigación se centró en el análisis de la propagación y la caracterización morfológica de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) nativos. Con este propósito, se llevó a cabo el aislamiento e identificación de esporas de las principales morfoespecies de HMA en cinco áreas de sistemas agroforestales (SAF) asociados al cultivo de café en las zonas de Malacatos, Chaguarpamba, Lozumba, Zapotepamba y La Argelia de la Provincia de Loja. Los resultados indican morfoespecies de los géneros de *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora* y *Gigaspora* en las cinco zonas de estudio, además, mediante la identificación morfológica de esporas se hallaron 16 morfoespecie de HMA nativos, agrupadas en cuatro géneros en toda la zona de estudio. Finalmente se evidenció que el mayor número de esporas de HMA fue el consorcio de Chaguarpamba con un total de 320 esporas/100 g de suelo, así mismo en este sector el SAF posee la mayor diversidad florística que posee el cultivo de café. Se puede concluir que el orden más representativo fue el género *Glomus*, seguido de los géneros *Acaulospora*, *Gigaspora*, y *Scutellospora*, por lo tanto, tiene un alto potencial para el uso como biofertilizante y aplicación en cafetales y en cultivos agrícolas, frutícolas y plantaciones forestales asociados a SAF. Así mismo se recomienda continuar con investigaciones sobre las características morfológicas y moleculares de las esporas de HMA nativos en SAF asociados al café, con el propósito de identificar nuevas especies para generar alternativas biotecnológicas como los biofertilizantes y bioestimulantes a base de compuestos orgánicos, hongos o microorganismos benéficos, en otras palabras, bioproductos a gran escala y potenciar la agricultura sustentable y amigable con el ambiente.

Palabras clave: Morfoespecie, hongos micorrízicos arbusculares (HMA), simbiosis, consorcios de microorganismos, inóculo.

2.1. Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are a group of symbiotic microorganisms with higher plants that provide a link between the soil and plant roots, which are of great importance in the formation and stabilization of soil aggregates. They establish symbiotic processes with 80% of the families of terrestrial plants; the fungus allows greater absorption capacity of water and nutrients from the soil, prevents the action of pathogenic microorganisms in the root. The AMF are propagated in the host plants, one of the most used plants is corn (*Zea mays*), which presents a type of fasciculated root that allows it to be used as a host plant in trap crops to massify the number of spores and make consortia of native microorganism of beneficial AMF from different areas of the province of Loja. The current research focused on the study of propagation and morphological characterization of native consortia of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). For this, the isolation and identification of spores of the main AMF morphospecies from five areas of agroforestry systems (AFS) associated with coffee cultivation in the areas of Malacatos, Chaguarpamba, Lozumbe, Zapotepamba, and La Argelia in the province of Loja. The results indicate that morphospecies of the genera of *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora* and *Gigaspora* were found in the five study areas, in addition, through the morphological identification of spores, 16 native AMF morphospecies were found, grouped into four genera throughout the study area. Finally, it was evidenced that the highest number of AMF spores was the Chaguarpamba consortium with a total of 320 spores/100 g of soil, likewise in this sector the AFS has the greatest floristic diversity that coffee cultivation has. It can be concluded that the most representative order was the *Glomus* genus, followed by the *Acaulospora*, *Gigaspora*, and *Scutellospora* genera, therefore, it has a high potential for use as a biofertilizer and application in coffee plantations and agricultural crops, fruit trees, and forest plantations associated with AFS. Likewise, it is recommended to continue with research on the morphological and molecular characteristics of native AMF spores in AFS associated with coffee, with the purpose of identifying new species to generate biotechnological alternatives such as biofertilizers and biostimulants based on organic compounds, fungi or beneficial microorganisms, in other words, large-scale bioproducts and promoting sustainable and environmentally friendly agriculture.

Key words: Morphospecies, arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), symbiosis, consortia of microorganisms, inoculum.

3. Introducción

La especie de hongos en la que se enfoca esta investigación son los micorrízicos arbusculares o conocidos como (HMA), por su propiedad de formar simbiosis con el 80% de las plantas terrestres formando arbusculos, vesículas (en algunas especies) e hifas, dentro de las células corticales de las plantas que colonizan, destaca además el hecho de que se presenta en todos los ecosistemas y suelos como lo indican Chimal-Sánchez et al., (2016). Como se puede deducir, la fácil expansión de esta especie permite que surjan nuevas especies, sin embargo, Lovera (2007) aclara que nuevas investigaciones han mostrado que la diversidad de hongos (HMA) puede influir en la productividad y diversidad de las comunidades vegetales, así como en las relaciones competitivas y funcionamiento general de los ecosistemas naturales.

La obtención de este tipo de microorganismo según Sánchez (2015) puede darse a partir del empleo de cultivos trampa en los cultivos de café, utilizando una combinación de suelo de rizósfera y de raíces para el crecimiento de la planta huésped. De esta manera se consiguen HMA más saludables e identificables, aumentando las posibilidades de colonización y proliferación en el suelo. Destaca también, que la mejor estrategia para encontrar plantas con las mejores asociaciones micorrízicas es utilizando el cultivo trampa e inóculo de suelo rizosféricos de café para producir HMA y propagarlos.

Tradicionalmente los agricultores optan por la utilización de químicos en el proceso de cultivo, el propósito del empleo de estos componentes como fertilizantes, y plaguicidas es la de arribar cultivos con características que satisfagan las necesidades de la demanda. Pero también indica que al ser un químico destruye, la capa fértil del suelo, los microorganismos, y aumenta el apareamiento de bacterias, variación del pH, deterioro de la estructura del suelo y deterioro de los cafetales de Sistemas Agroforestales (SAF) provocando a largo plazo un desbalance de diversos agroecosistemas.

De acuerdo con la línea de investigación de la Universidad Nacional de Loja, esta investigación está relacionado con el objetivo 11 denominado "Utilización de recursos de la biodiversidad y cambio climático". El plan de estudios de la Carrera de Agronomía cuenta con la línea de investigación denominada "Sistemas Agropecuarios Sostenibles para la soberanía alimentaria".

3.1.Objetivo General

- Describir las características morfológicas de consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) multiplicados en plantas trampa provenientes de sistemas agroforestales (SAF) asociados al café de la provincia de Loja.

3.2. Objetivos específicos

- Establecer los cultivos trampa en plántulas de maíz como fuentes de inóculos nativos de HMA provenientes de cafetales en SAF para potenciar su multiplicación y uso como biofertilizante o bioproducto.
- Caracterizar morfológicamente y cuantificar los HMA para establecer consorcios nativos de inóculo de micorrizas para generar información técnico-científica.

4. Marco teórico

4.1. Generalidades de los Hongos Micorrízicos.

Por mencionar algunas de las generalidades de los hongos Micorrízicos nos basaremos en los aportes de Berdugo (2009), manifiesta que son simbioses asociados con la mayoría de las plantas terrestres, los cuales tienen un rol importante en la agregación del suelo. El mismo autor indica que el término micorriza significa “hongo-raíz” propuesto por el patólogo forestal alemán Frank en 1877, esta denominación fue utilizada para denominar a un grupo de hongos que se encuentran en los ecosistemas terrestres como: bosques, zonas riparias, agro ecosistemas e incluso en hábitat acuático formando simbiosis mutualistas altamente evolucionadas determinadas por las características de la planta huésped y el hongo micorrízico, Estas simbiosis son reguladas por factores del suelo y del medio ambiente.

4.2. Tipos de Hongos Micorrízicos.

Para los autores Devia et al., (2021) entre los tipos de hongos Micorrízicos se pueden distinguir tres grupos fundamentales según su estructura formada: ectomicorrizas o formadoras de manto; ectendomicorrizas, que incluyen arbutoides y monotropoides y las endomicorrizas, caracterizadas por la colonización intracelular del hongo y que a su vez se subdividen en ericoides, orquidoides y arbúsculares.

Según los autores Sagadin et al., (2018) en el grupo de los hongos micorrízicos destacan las endomicorrizas quienes se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical, no poseen manto externo. En esta subdivisión se encuentran también las micorrizas versículo-arbúsculares (MVA) o conocidas como como hongos micorrízicos arbúsculares (HMA).

En el caso de las endomicorrizas, el micelio del hongo penetra en las células del córtex de la raíz, lo que implica un contacto más cercano. Estas micorrizas se caracterizan por tener un micelio sin tabiques, y su formación involucra a hongos del grupo Glomeromycota, específicamente del orden Glomales

En las ectomicorrizas, las hifas del micelio del hongo no penetran en las células de la planta, sino que forman una estructura envolvente alrededor de las raíces según lo indican Ortíz et al., (2019), desde la cual se extienden algunas hifas que se introducen entre las células de la raíz. Destacan que en este tipo de micorrizas presenta un micelio que contiene divisiones

en forma de tabiques, las partes más finas de las raíces con una densa capa de micelios, llega a cubrir por completo el ápice vegetativo de la raíz.

Los autores antes mencionados también indican que son un grupo de micorrizas con una estructura intermedia entre las ectomicorrizas y las endomicorrizas. Se encuentran principalmente en un pequeño conjunto de árboles leñosos, como las coníferas (familias Pinaceae, Araucariaceae) y las cupulíferas (familias Fagaceae, Betulaceae), elementos importantes en la vegetación forestal de las regiones templadas.

4.3. Taxonomía de los Hongos Micorrízicos Arbúsculares

El tipo de hongos micorrízicos arbúsculares (HMA) se encuentran en el phylum Glomeromycota, y pertenecen a la clase Glomeromycetes. Según la clasificación más reciente realizada por Schüssler and Walker (2010), en la tabla 1 se exponen 11 de las familias identificadas por estos investigadores y 17 géneros de HMA.

Tabla 1. Clasificación de los HMA

Reino: Fungi Phylum: Glomeromycota Clase: Glomeromycetes		
Orden	Familia	Género
Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i>
		<i>Funneliformis</i>
		<i>Rhizophagus</i>
		<i>Scloerocystis</i>
Diversisporales	Claroideoglomeraceae	<i>Claroideoglomus</i>
	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>
		<i>Scutellospora</i>
		<i>Racocetra</i>
	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>
	Entrophosporaceae	<i>Entrophospora</i>
	Pacisporaceae	<i>Pacispora</i>
	Diversisporaceae	<i>Diversispora</i>
<i>Otospora</i>		
Paraglomeraceae	<i>Paraglomus</i>	

	Geosiphonaceae	<i>Geosiphon</i>
	Ambisporaceae	<i>Ambispora</i>
	Archaeosporaceae	<i>Archaeospora</i>

Nota: Tomado de (Schüßler y Walker, 2010)

4.4. Simbiosis planta-hongo

Enfocándose en las teorías de Valencia y Zuñiga (2015), se puede deducir que los hongos micorrízicos arbúsculares (HMA) tienen la característica de crecimiento intracelular e intercelular en la corteza de la raíz. Las micorrizas arbúsculares se dividen en dos, primero se invaginan de la membrana plasmática de las células corticales y tienen una vida corta, por su parte las vesículas son estructuras de almacenamiento formadas en los extremos de las hifas.

Los autores también hacen referencia a los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora* e indican que no generan vesículas, pero forman células adheridas. Las hifas externas de estos hongos se clasifican en tres tipos, según su morfología y la función que realizan: Las hifas infecciosas, que establecen puntos de colonización de una o más raíces; Las hifas absorbentes son las que se encargan de explorar el suelo para la extracción de nutrientes y las hifas fértiles responsables de transportar las esporas.

Existen dos tipos de morfológicos de colonias en las micorrizas, “Arum” y “Paris” en el primero las hifas crecen entre las células corticales de la raíz, y en el segundo, las hifas crecen de manera intracelular, enredándose dentro de la célula misma. El crecimiento de los hongos simbióticos ocurre en un lapso de una o dos semanas hasta que se establece contacto con las raíces de la planta huésped, es ahí donde se empieza a formar una estructura denominada apresorio, de la cual las hifas penetran en las células corticales de la raíz, formando los arbúsculos y aumentando así el área de contacto entre la planta y el hongo.

4.5. Ciclo de vida de HMA

Para Vera et al., (2019), las micorrizas arbúsculares se originan a partir de las hifas presentes en el suelo, como esporas maduras, fragmentos de raíces micorrízicas o plantas micorrízicas cercanas. Indican que cuando una hifa entra en contacto con la superficie celular epidérmica de la raíz, forma una estructura llamada apresorio, y a partir del apresorio se generan hifas colonizadoras que penetran en las células o se extienden a través del espacio intercelular. Finalmente mencionan que, en la región externa de la corteza de la raíz, se forman

estructuras intracelulares denominadas "ovillos", mientras que, en la región media de las hifas, suelen crecer longitudinalmente en el espacio intercelular. Finalmente, en la región interna, las hifas atraviesan las células y se forman ramificaciones repetidas para facilitar el intercambio de nutrientes, dando lugar a la formación de arbusculos.

4.6. Mecanismos y proceso de colonización

En la siguiente sección se detallan las etapas donde se presenta el proceso de colonización de una micorriza.

Etapa primera- Según el autor, en esta etapa la diferenciación de esporas, la propagación de hongos y la discriminación mutua entre plantas y hongos, y viceversa, ocurren en la rizósfera o áreas cercanas a las raíces o pelos de las raíces de los nutrientes. Este reconocimiento se da gracias a sustancias segregadas o secretadas por las raíces, mismas que provocan crecimiento micelial y biotropismo positivo.

Etapa segunda- En esta, se produce un acercamiento y unión de manera gradual y paulatina de micelio y raíces, de esta forma se producen contactos intercelulares que terminan formando una estructura que conecta a ambos especímenes.

Etapa tercera- En esta etapa final, se produce la colonización y el hongo induce a cambios morfológicos y estructurales tanto en el tejido colonizado como en el de la pared celular de la raíz. Posteriormente se produce la integración fisiológica de ambos simbioses (raíces de hongos) y finalmente la actividad enzimática se coordina entre los simbioses para integrar los procesos metabólicos. Es importante destacar que la forma en que ocurren estos cambios fisiológicos difiere entre las endomicorrizas y las ectomicorrizas pues, en las ectomicorrizas, las hifas solo penetran en las células corticales a través del espacio intercelular, mientras que, en las endomicorrizas, algunas hifas ingresan dentro de las células corticales, formando estructuras llamadas arbusculos.

4.7. Estructura de los HMA

4.7.1. Esporas

Las estructuras que componen AMF son las siguientes: Micorrizas arbusculares y vesículas que transportan información genética fúngica y almacenan reservas de esporas, micorrizas y lípidos que controlan el proceso simbiótico. Hifas de diversas morfologías y funciones, desde esporas "hifas infecciosas" hasta hifas fértiles "absorbibles". En la estructura, el hongo invade sin destruir la membrana celular de la planta, creando una estructura bifurcada

llamada "proceso dendrítico" o enrollándose para formar una envoltura, aumentando el contacto entre las dos paredes celulares (Gómez et al., 2020).

En este ámbito Ordoñez (2009), manifiesta que, aunque las esporas representan principalmente una forma conservada de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), su ciclo de vida puede iniciarse a través de otras formas de proliferación, como redes de micelio y fragmentos de raíz colonizados. Para el autor las esporas poseen una mayor resistencia a las influencias ambientales y sus paredes más gruesas pueden inactivarlas si así se desea. Aclara que las clamidosporas se generan por reproducción asexual y pueden encontrarse tanto en el suelo como en las raíces de la vegetación huésped, así como en masas no estructuradas conocidas como cuerpos fructíferos.

Por su parte Ruíz et al., (2012) explica que son multinucleados que contienen gotas de lípidos y otros contenidos de varios colores, cuando las esporas revientan en el portaobjetos, se observa la colocación de gotas pequeñas o grandes, lo que ayuda a identificar el hongo. Por su parte la pared de esporas se forma por una o más láminas que difieren en grosor, estructura, apariencia y color de reacción, ayudando a los taxónomos a identificar las especies. También manifiesta que en la mayoría de los casos tienen una forma esférica, sin embargo, algunas especies tienen esporas ovaladas de donde emergen las hifas. Pueden variar de tamaño desde 20-50 μm a 200-1000 μm .

(Ochoa, 2019) aclara que los filamentos (hifas) surgen de las esporas, estos colonizan la planta huésped, durante el establecimiento de la simbiosis, el hongo coloniza la corteza de las raíces y desarrolla numerosos micelios que simulan un sistema radicular, permitiendo a las plantas absorber nutrientes minerales así como agua del suelo. La planta huésped proporciona al hongo una fuente de carbono de la fotosíntesis y un nicho ecológico protegido. Las ramas del micelio se ramifican nuevamente y se involucran en la progresión del micelio y la expansión de colonias fúngicas.

Por su parte el ectomicelio actúa como un sistema radicular complementario que se extiende más allá de la zona empobrecida en nutrientes cerca de la raíz. La función principal es buscar, absorber y transportar nutrientes para la planta, especialmente para aquellos que presentan una lenta difusión en la solución del suelo como: Fósforo, zinc, cobre y amonio. Como dato estadístico, la simbiosis es un factor de alto costo para las plantas, ya que los hongos consumen del 4% al 20% del carbono ligado por la fotosíntesis, pero, las hifas fúngicas son mucho más delgadas y pueden ser más gravosas.

4.8. Fenología

Las esporas crecen hasta 20-30 mm en 15-20 días. En la etapa presimbionte, el exudado de la raíz promueve el crecimiento fomenta el crecimiento del tubo germinal hacia la raíz e induce la bifurcación del tubo germinal en forma de abanico al estimular múltiples puntos de entrada a la raíz. Los arbusculos se desarrollan dentro de 1 a 6 días de invadir las células corticales. Después de 4 a 15 días, degeneran y las células huésped vuelven a su estado original. La proporción total de la longitud de la raíz ocupada por hongos micorrízicos arbusculares depende de la especie de hongo, las estaciones, los factores educativos, la hidrología del suelo y la temperatura del suelo. El grado de colonización de raíces también depende de la interacción entre el biofásico del suelo y la planta huésped, la etapa bioestacional del huésped y la asignación de carbono (Ochoa, 2019).

5. Metodología

5.1. Ubicación geográfica de las áreas de colecta

Las áreas de colecta de las fuentes de inóculo de los HMA de la provincia de Loja, Ecuador corresponden a Malacatos (Hacienda el cristal), Lozumbe, Chaguarpamba y Zapotepamba y Quinta Experimental Docente la Argelia de la Universidad Nacional de Loja (Figura 1).



Figura 1. Ubicación espacial de las áreas de colecta de las fuentes de inóculo de HMA en la provincia de Loja.

5.2. Método de investigación

El método utilizado fue el deductivo, partiendo de los objetivos planteados y de la información obtenida sobre cultivos trampa y la multiplicación de micorrizas para su caracterización morfológica y establecer consorcios nativos de inóculo de micorrizas en cultivos de café.

5.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos (Tabla 2) y tres repeticiones. Por unidad experimental se consideró una maceta de 5 kg con un contenido del 10 % de inóculo de HMA (0.5 kg) de cada sitio y el 90% de arena de mina esterilizada con una mezcla de turba (4.5 kg).

Tabla 2

Descripción de los tratamientos según las áreas de colecta de las fuentes de inóculo de HMA en la provincia de Loja, Ecuador.

Código	Tratamiento	Descripción de los tratamientos	Procedencia de las fuentes de inóculo de HMA.	Altitud (m.s.n.m)	Descripción del SAF asociado al café, Loja, Ecuador.
Cons_HMA_Mal.	T1	consorcio HMA-Malacatos	hacienda el Cristal-Malacatos	2409	Sistema asociado con Aliso (<i>Alnus acuminata</i> Kunth) y vegetación herbácea
Cons_HMA_Cha.	T2	consorcio HMA-Chaguarpamba	Chaguarpamba	800	Sistema asociado con banano (<i>Musa paradisiaca</i> L). Guayabo (<i>Psidium guajava</i> L) y Pico-Pico (<i>Acnistus arborescens</i> L).
Cons_HMA_Loz.	T3	consorcio HMA-Lozumbe	Lozumbe	843	Sistema asociado con banano (<i>Musa paradisiaca</i> L), Guaba (<i>Inga edulis</i> Mart), Naranja (<i>Citrus x sinensis</i> L.), Porotillo (<i>Erythrina velutina</i> Willd), Fernán Sánchez (<i>Triplaris cumingiana</i> Fisher y Meyer), vegetación herbácea y arbustiva.
Cons_HMA_Zap.	T4	consorcio HMA-Quinta experimental Zapotepamba	Quinta experimental Zapotepamba de la UNL.	889	Sistema asociado con aliso (<i>Alnus acuminata</i> kunth)
Cons_HMA_Arg.	T5	consorcio HMA-Quinta experimental la Argelia	Quinta experimental la Argelia de la UNL. Loja	2125	Sistema asociado con Aliso (<i>Alnus acuminata</i> Kunth).

Nota: Elaboración propia.

En la Figura 2 se indica el esquema del diseño experimental completamente al azar (DCA) con tres repeticiones y cinco tratamientos en cultivos trampa de maíz para evaluar los consorcios de HMA provenientes de cinco SAF asociados al café de la provincia de Loja.



Figura 2. Esquema del diseño experimental (DCA)

5.4. Metodología General

5.4.1. Fase de laboratorio

La fase de laboratorio se desarrolló en la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables. En este lugar se multiplicaron los HMA provenientes de cafetales en SAF como se observa en la Tabla 3, con el propósito de potenciar su multiplicación y posteriormente su caracterización.

Tabla 3

Áreas de colecta de las fuentes de inóculo de HMA.

Áreas	Lugar de la colecta de los consorcios de HMA	Descripción de lugar de procedencia de HMA	Ubicación	Altitud (m.s.n.m)	Variedad de café
1	Hacienda El Cristal-Malacatos	Plantaciones de aliso (<i>Alnus acuminata</i> Kunth) con café (<i>Coffea arabica</i>), y vegetación herbácea.	Barrio Tres Lagunas parroquia Malacatos del cantón Loja.	2409	Caturra
2	Chaguarpamba	Plantaciones de banano (<i>Musa paradisiaca</i> L), Guayabo (<i>Psidium guajava</i> L), y Pico-Pico	Parroquia de Chaguarpamba.	800	Geisha

		(<i>Acnistus arborescens</i> L).			
3	Lozumbe	Plantaciones de banano (<i>Musa paradisiaca</i> L), Guaba (<i>Inga edulis</i> Mart), Porotillo (<i>Erythrina velutina</i> Willd), y vegetación arbustiva y herbácea.	Parroquia Santa Rufina del cantón Chaguarpamba.	843	Caturra
4	Zapotepamba	Plantaciones de (<i>Alnus acuminata</i> Kunth)	Valle de Casanga del cantón Paltas en la provincia de Loja.	889	Caturra
5	La Argelia-UNL. Loja	Plantaciones de Aliso (<i>Alnus acuminata</i> Kunth) con café (<i>Coffea arabica</i>).	Provincia de Loja.	2125	Caturra

5.5. Metodología para el primer objetivo

Establecer los cultivos trampa en plántulas de maíz como fuentes de inóculos nativos de HMA provenientes de cafetales en SAF para potenciar su multiplicación y uso como biofertilizante o bioproducto.

5.5.1. Colecta de sustrato o inóculo de HMA

Se obtuvieron muestras representativas de inóculo que contenían, suelo, raicillas y propágulos como esporas e hifas de HMA provenientes de cultivos trampa de sistemas agroforestales de café de la provincia de Loja, éstos cultivos se mantuvieron vitales en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la FARNR de la Universidad Nacional de Loja, y fueron resultado del proyecto titulado “Aislamiento y caracterización molecular de microorganismos benéficos de los sistemas agroforestales de cafetales en la región sur del Ecuador”, financiado por la UNL en el periodo 2019-2021 procedente de la Hacienda El Cristal, Chaguarpamba y Lozumbe. Así mismo dos muestras representativas provenientes de La Argelia, Zapotepamba que están involucrados en el proyecto de investigación denominado: “Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y hongos micorrizicos sobre la macroporosidad del suelo y el

crecimiento inicial del cafeto (*Coffea arabica* L.) desarrollado en dos agroecosistemas de la provincia de Loja, en el periodo 2021-2023”.

5.5.2. Multiplicación de inóculo de HMA (Cultivos trampa en plantas de maíz).

Para la multiplicación de inóculo de HMA se utilizó plantas de maíz (*Zea mays*) como planta hospedera, por su acelerado crecimiento y por la ramificación de su raíz. La recolección de las semillas se dio en la quinta experimental docente de la UNL. Se inocularon cuatro plantas de maíz por cada tratamiento (sustratos o fuentes de inóculo de HMA), mismos que se dejó en producción de propágulos de HMA por tres meses.

5.5.3. Biomasa seca foliar de las plantas trampa de maíz (*Zea mays*)

Según Ávila (2016) para determinar la biomasa foliar en gramos, se tomaron plantas de tres macetas, se separó la parte aérea foliar y radicular por cada tratamiento, la parte foliar se colocaron en bolsas de papel, se las dejó secar a 90°C por 48 horas en la estufa a las 10 semanas después de la siembra, utilizando la siguiente ecuación:

$$B = \text{Peso seco} * r$$

Donde:

B=Biomasa

r = Peso seco / peso fresco

5.5.4. Biomasa radicular de las plantas trampa de maíz (*Zea mays*)

Para determinar la biomasa de la parte radicular se tomaron plantas de tres macetas y se precedió a secarlas a 90°C por 48 horas en la estufa a las 10 semanas después de la siembra, los datos obtenidos fueron procesados digitalmente. Empleando las ecuaciones de Ávila (2016) se empezó calculando el porcentaje de humedad de las raíces, utilizando el peso fresco y seco de las muestras, dicho cálculo se puede observar en la ecuación 1. Posteriormente se determinó la biomasa multiplicando el peso fresco de las raíces por su porcentaje de humedad, operación expresada en la ecuación 2.

$$H(\%) = \frac{Pf - Ps}{Pf} * 100 \text{ [ecuación 1]}$$

Donde:

H= Porcentaje de humedad (%)

Pf= peso fresco (kg)

Ps= Peso seco (kg)

$$B = Pf * 1 - \frac{H}{100} \text{ [ecuación 2]}$$

Donde:

B=Biomasa (kg)

Pf=Peso fresco (kg)

5.6. Metodología para el segundo objetivo

Caracterización morfológica y cuantificación de HMA para establecer consorcios nativos de inóculo de micorrizas para generar información técnico-científica.

5.6.1. Aislamiento de HMA

La técnica propuesta por León (2006) para el aislamiento de esporas de HMA nativos consiste en el tamizado húmedo y decantación, combinada con la técnica de flotación de azúcar, para los suelos rizosféricos provenientes de las diferentes provincias de Loja. Se ha considerado la aplicación de esta técnica para aplicarla en el aislamiento de HMA en este proyecto.

En cuanto al procedimiento, consistió en obtener 100 g de muestra de suelo para pesarlo, después se procedió a lavarlo en los tamices de 12 um y 38 um, para dejarlo reposar. El sobrenadante (38 um) fue colocado en un tubo falcón en el que previamente se agregó 20 ml de azúcar al 60% y se guardó en refrigeración hasta llegar a terminar el ensayo con todas las muestras.

Se utilizaron tubos que fueron centrifugados a 2400 rpm / 4 minutos con el objetivo de precipitar partículas de suelo y suspender las esporas hasta la interfase entre el azúcar. Finalmente, se retiró con cuidado el tubo falcón de la centrífuga, colocando el sobrenadante sobre el tamiz de 38 μm, además se procedió a lavar con agua corriente y eliminar la sacarosa, dejando solamente las esporas. El sobrenadante se colocó en una placa Petri de 1 cm para realizar y facilitar la cuantificación de esporas e identificación de las morfoespecies, para observarlas en un microscopio estereoscópico a 3X de aumento.

5.6.2. Caracterización morfológica de HMA

La técnica para lograr la caracterización morfológica de HMA fue colocando 5 esporas, se les agregó una gota de Reactivo de Melzer, y una de Polivinil Lacto Glicerol (PVLG), las placas fueron acercadas al microscopio para observarlas con un lente de 40X, de esta manera se logró identificar la morfología de las esporas basándose en los siguientes criterios: el tamaño, la ornamentación de la hifa de sostén, el color que se presenta luego de haber sido observado en el microscopio, la forma en que se presenta la espora, coloración de las capas y láminas de la espora al reaccionar con el reactivo de Melzer (García-Núñez et al., 2017).

5.6.3. Cuantificación de colonias de HMA en 100 g de suelo

Para lograr la cuantificación de las colonias se requirió de la utilización de un microscopio binocular de 40X y 100X.

5.6.4. Establecer el consorcio de HMA de los diferentes tratamientos

Luego de haber realizado la identificación de las esporas o morfoespecies de HMA de los consorcios provenientes de las zonas de estudio de SAF asociados al café, se procedió a realizar cultivos monospóricos de las morfoespecies ya caracterizadas morfológicamente, el propósito fue identificar la cantidad de biofertilizante requerido en los cultivos establecidos en sistemas agroforestales.

5.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó empleando el software InfoStat. Se pudo comprobar en todas las variables los supuestos de normalidad de los datos tomados mediante la prueba de Shapiro-Wilks y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Finalmente, se procedió a realizar un análisis de varianza ANOVA, y se aplicó una prueba de comparación múltiple mediante el Test de Tukey al 95 % de confianza

6. Resultados

6.1. Resultados para el primer objetivo

6.1.1. Aislamiento de hongos micorrízicos arbúsculares de sistemas agroforestales de café

La tabla 4 expone morfoespecies de HMA, aislados a partir de las muestras de suelo procedentes de sistemas agroforestales asociados al café.

Tabla 4

Aislamientos de morfoespecies de HMA en 100 g de suelo de sistemas agroforestales de café.

Sitio de muestreo	Morfoespecie HMA	Número de esporas	Esporas totales
Hacienda Cristal-Malacatos	1	95	280
	2	107	
	3	78	
Chaguarpamba	4	83	320
	5	135	
	6	102	
Lozumbe	7	30	230
	8	50	
	9	70	
	10	80	
Quinta Experimental Zapotepamba	11	80	180
	12	60	
	13	40	
Quinta Experimental La Argelia-UNL	14	40	120
	15	30	
	16	50	

6.1.2. Biomasa seca foliar y radicular de las plantas trampa (maíz)

En la Figura 3 se presentan los resultados de las plantas huéspedes de maíz (*Zea mays*) de HMA registrados a los 60 ddt (días después de la siembra), se puede apreciar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos para la variable de biomasa foliar y radicular.

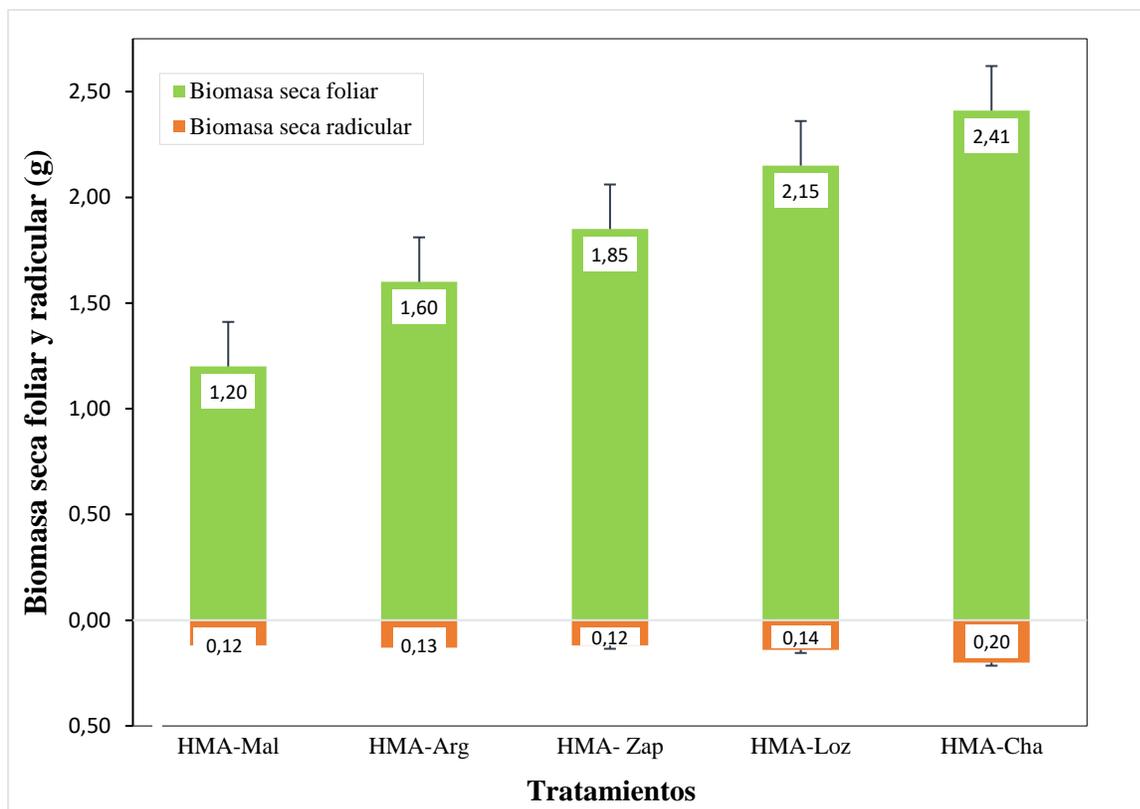


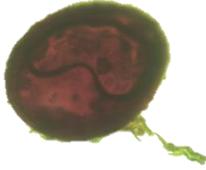
Figura 3: Biomasa radicular de plantas de maíz a los 60 ddt de cada tratamiento.

Resultado para el segundo objetivo

6.1.3. Caracterización morfológica de morfoespecie de HMA

La figura 4, expone las características morfológicas de los HMA aislados, procedentes de las muestras obtenidas de sistemas agroforestales asociados al café. Se lograron identificar 15 morfoespecies, pertenecientes al género Acaulosporaceae, Gigasporaceae y Glomeraceae. Dichas características fueron comparadas con los del catálogo INVAM, ([http://www.amf-phylogeny.Com /index.html](http://www.amf-phylogeny.Com/index.html)) de acuerdo con la colección internacional de Glomales.

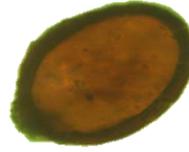
Malacatos



a) *Glomus* sp 1
Morfoespecie 1.



b). *Glomus* sp 2
Morfoespecie 2



c). *Glomus* sp 3
Morfoespecie 3

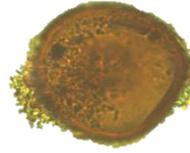
Chaguarpamba



d). *Acaulospora* sp 4
Morfoespecie 4



e). *Glomus* sp 5
Morfoespecie 5



f). *Scutellospora* sp 6
Morfoespecie 6

Lozumbe



g). *Glomus* sp 7
Morfoespecie 7



h). *Glomus* sp 8
Morfoespecie 8



i). *Glomus* sp 9
Morfoespecie 9



j). *Gigaspora* sp 10
Morfoespecie 10

Zapotepamba



k). *Glomus* sp 11
Morfoespecie 11



l). *Glomus* sp 12
Morfoespecie 12

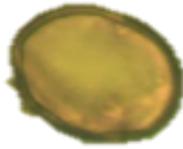


m). *Acaulospora* sp 13
Morfoespecie 13

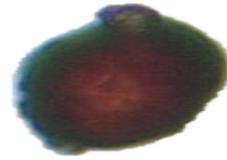
La Argelia



n). *Glomus* sp 14
Morfoespecie 14



ñ). *Glomus* sp 15
Morfoespecie 15



o). *Glomus* sp 16
Morfoespecie 16



Figura 4. Caracterización morfológica de HMA de las áreas de colecta de las fuentes de inóculo de HMA de la provincia de Loja, Ecuador. *Glomus* spp (A, B, C, E, G, H, I, K, N, Ñ, O), *Acualospora* spp (D, M), *Scutellospora* spp (F) y *Gigaspora* spp (J). Imágenes a escala de 40X

Tabla 5. Características morfológicas de morfoespecies de HMA asociados al cultivo del café.

Procedencias de Consorcios de HMA	Altitud	Morfoespecies de HMA	Color	Forma	Diámetro	N° de capas	Reactivo de Melzer	Género
	m.s.n.m							
Malacatos	2409	1	Pardo claro	Subglobosa	87,086	3	Positivo	<i>Glomus</i> sp 1
		2	Marrón oscuro	Globosa	84,6402	2	Positivo	<i>Glomus</i> sp 2
		3	Marrón claro	Subglobosa	73,4306	3	Positivo	<i>Glomus</i> sp 3
Chaguarpamba	800	4	Pardo rojizo	Subglobosa	69,13	3	Positivo	<i>Acaulospora</i> sp 1
		5	Pardo	Subglobosa	101,14	2	Positivo	<i>Glomus</i> sp 4
		6	Negro	Globosa	129,009	2	Positivo	<i>Scutellospora</i> sp 1
Lozumbe	843	7	Pardo claro	Subglobosa	93,918	2	Positivo	<i>Glomus</i> sp 4
		8	Pardo rojizo	Globosa	71,516	1	Positivo	<i>Glomus</i> sp 5
		9	Marrón oscuro	Globosa	95,357	2	Positivo	<i>Glomus</i> sp 6
		10	Amarillo	Subglobosa	100,726	3	Positivo	<i>Gigaspora</i> sp 1
Zapotepamba	889	11	Amarillo pardoso	Subglobosa	76,4406	2	Positivo	<i>Glomus</i> sp 6
		12	Pardo rojizo	Globosa	112,051	1	Positivo	<i>Glomus</i> sp 7
		13	Rojo oscuro	Subglobosa	84,6192	2	Positivo	<i>Glomus</i> sp 8
La Argelia	2125	14	Pardo claro	Subglobosa	97,263	2	Positivo	<i>Glomus</i> sp 9
		15	Rojo oscuro	Subglobosa	117,446	2	Positivo	<i>Glomus</i> sp 10
		16	Café oscuro	Globosa	82,269	1	Positivo	<i>Glomus</i> sp 11

7. Discusión

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta monocotiledónea que se asocia con los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) y se utiliza como cultivo trampa para ensayos con micorrizas (Aguilar-Ulloa et al., 2016), una de las razones por la que es utilizada para dicho fin es que producen una mayor cantidad de raíces, además son susceptibles de ser colonizadas y utilizar estos propágulos como fuentes de inóculos de HMA (Cedeño, 2010). En el estudio realizado por los autores Mena et al. (2013) en México, evaluaron la respuesta del maíz a la inoculación de un conglomerado de especies de HMA, los resultados obtenidos demostraron que en las variables de crecimiento no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos inoculados, al igual que en el presente ensayo, al analizar las variables biomasa foliar y radicular en las plantas de maíz no se vieron afectados por la presencia del consorcio de HMA (Malacatos Chaguarpamba, Lozumbe, Zapotepamba, La Argelia-UNL). Esto indica que, aunque el maíz es una excelente fuente de inóculos de HMA, se requieren estudios adicionales para determinar los mecanismos de respuesta de la planta al consorcio y así explicar los resultados obtenidos.

Los resultados de Villacrés et al. (2014) sugieren que los HMA pueden ser una herramienta útil para mejorar la productividad de los cultivos. Esto se demostró en el estudio de La Joya de los Sachas, Provincia de Orellana, Ecuador, donde se observó un aumento en la altura de las plantas de maíz, el número de hojas, la biomasa foliar y radicular, y el diámetro del tallo. Estos resultados sugieren que los HMA pueden ser una forma eficaz de mejorar el desarrollo de las plantas.

Una investigación desarrollada por los autores Pérez et al. (2012) acerca de la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en México, tuvo como objetivo conocer la densidad, abundancia y diversidad de especies de los HMA asociadas al cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en ella se identificaron 23 morfoespecies, 14 de estas se llevaron a nivel de especie donde *Glomus* y *Acaulospora* fueron los géneros que predominaron. Sin embargo, en otra investigación similar desarrollada por Carrenho et al. (2002) se registró un menor número de especies, 14 de HMA en base a un experimento conducido en macetas de plástico con arena de cuarzo e inoculado con un concentrado de esporas de HMA el mismo fue aislado del suelo de una parcela cultivada con maíz. Esto sugiere que estos dos géneros de HMA *Glomus* y *Acaulospora* pueden ser los más adecuados para establecer una buena relación con el maíz bajo condiciones de cultivo de

cobertura con biofertilizantes, además la diversidad de HMA en los suelos de México varía en diferentes regiones. Esto se ve reflejado en ambas investigaciones, en la cual se encontraron diferentes números de especies. Esto sugiere que la diversidad de HMA depende de los factores ambientales y de las características del suelo, lo cual puede explicar los resultados encontrados.

El género *Glomus* es el género dominante de HMA en la presente investigación, seguido por *Acaulospora* y *Scutellospora*. Esto refuerza los hallazgos de otros estudios Sangabriel et al. (2017) y Oehl et al., (2004) que han identificado a estos géneros como los principales en sus investigaciones. Esto se debe a que los géneros *Glomus*, *Acaulospora* y *Scutellospora* se adaptan a diferentes tipos de suelos y se asocian con una amplia gama de plantas, lo cual explica su presencia en los diferentes lugares de estudio (Saparrat et al., 2020). Estos resultados coinciden con los presentados por el autor Guachanamá (2020), quien identificó tres morfoespecies del género *Glomus* en la zona de Malacatos en la hacienda Cristal, y en las zonas de Chaguarpamba y Lozumbe, identificó un morfotipo del género *Acaulospora*, y tres morfoespecies del género *Glomus*. En el sector de la Argelia el mayor número de esporas correspondieron a *Glomus* (tres morfoespecies), en dicho lugar las esporas encontradas son muy bajas (120 esporas) en comparación con las demás localidades, se detectó un incremento de esporas todo esto debido a la diversidad de especies vegetales que existen. Lalangui (2018), por su parte encontró en las muestras de suelo rizosférico de tres zonas riparias del cantón Loja tres géneros de hongos micorrízicos, estos corresponden a *Glomus*, *Acaulospora* y *Scutellospora*.

Las comunidades de HMA según los autores Trejo et al. (2011) pueden experimentar variación, debido a efectos estacionales, la dinámica de esporulación entre las especies y el manejo agronómico en los ecosistemas y agroecosistemas, esto ha tenido una repercusión directa en las poblaciones de HMA. Esto podría explicar la presencia del género *Acaulospora* y *Scutellospora* en las zonas de Chaguarpamba, *Gigaspora* en Lozumbe y *Acaulospora* en Zapotepamba, lugares que presentan plantaciones de banano (*Musa paradisiaca* L), Guayabo (*Psidium guajava* L), y Pico-Pico (*Acnistus arborescens* L). Guaba (*Inga edulis* Mart), Porotillo (*Erythrina velutina* Willd), vegetación arbustiva y herbácea asociada a los cultivos de café.

En los cinco sistemas agroforestales se logró identificar los géneros *Glomus*, *Acaulospora* y *Gigaspora*, concordando con el estudio realizado por los investigadores Bolaños et al. (2000), donde evaluaron 28 sistemas cafetaleros, de los cuales se aislaron e

identificaron 6 géneros y 20 especies de HMA. En dichos sistemas los géneros predominantes fueron *Acaulospora* y *Glomus*. Bertolini et al., (2018) por su parte realizaron un estudio en México, en sistemas agroforestales de café, donde encontraron 20 morfoespecies de HMA pertenecientes los géneros: *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora*, de los cuales, fueron predominantes los géneros *Acaulospora* con diez morfoespecies y *Glomus* con siete morfoespecies. Otro estudio similar realizado en Costa Rica por los investigadores Prates et al. (2019), donde indagaron sobre comunidades de HMA asociadas a raíces de café, determinaron que las familias Gigasporaceae y Acaulosporaceae eran dominantes en abundancia y riqueza. Las especies que lograron identificar fueron: *Glomus*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora minuta* y *Acaulospora laevis*.

En Ecuador, Gavilanes (2019) reportó *Funneliformis mosseae*, *Gigaspora gigantea* y *Stecullospora* spp., como la especie más común en plántulas de *Coffea canephora*. De manera similar en Colombia, Barrera et al (2015) reportaron los géneros *Acaulospora*, *Glomus* y *Scutellospora* como las especies más abundantes, seguidas por *Sclerocystis*, *Gigaspora* y *Entrophospora* en el cultivo del café.

Un estudio realizado por Urgiles-Gomez et al. (2020) en la provincia de Loja, incluyó el cultivo en macetas y el aislamiento de HMA a partir de muestras de campo en sistemas agroforestales asociados al café, con el propósito de identificar morfoespecies de esporas a nivel de género, y obtención de inoculaciones para futuros experimentos. Se describieron varias morfoespecies de esporas, pertenecientes principalmente a los géneros *Acaulospora* y *Glomus*, resultados que concuerdan a los obtenidos en el presente estudio.

La dominancia del género *Glomus* se da en todos los tipos de suelo, debido a su capacidad de adaptación a diferentes condiciones edáficas. En la mayoría de las poblaciones nativas, se caracteriza por ser dominante, abarcando más de 100 especies de HMA (Medina et al., 2010). Además, la prevalencia del género *Glomus* se da en todos los tipos de suelo, debido a la rapidez y facilidad con la que este género coloniza las raíces (Prieto-Benavides et al., 2012) de la misma manera este género se vio reflejado en la presente investigación en los cultivos trampa y en las morfoespecies de los consorcios de HMA nativos de los cafetales de la provincia de Loja.

8. Conclusiones

- No hubo diferencia estadística entre los tratamientos, sin embargo, los consorcios nativos de HMA provenientes de SAFs de Chaguarpamba obtuvieron los mejores resultados en cuanto a las variables de biomasa foliar y radicular de la planta hospedera, maíz (*Zea mays* L.)
- La mayor diversidad de HMA se encontró en el consorcio de Chaguarpamba, misma que está relacionada a la mayor biodiversidad florística encontrada en el SAF.
- Mediante la identificación morfológica de esporas se hallaron 16 morfoespecies de HMA nativos, agrupadas en cuatro géneros de las cinco zonas de estudio.
- El género más representativo fue *Glomus*, seguido de los géneros *Acaulospora*, *Gigaspora*, y *Scutellospora*, por lo que se considera con un alto potencial para su uso como biofertilizante o bioproducto
- El número de morfoespecies del consorcio de HMA nativos de Chaguarpamba obtuvieron un total de 320 esporas/100g de suelo, a diferencia del consorcio de La Argelia, Loja con 120 esporas/100 g de suelo
- Las micorrizas se pueden potencializar para contrarrestar el uso de insumos químicos en la agricultura contribuyendo a mejorar las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo.

9. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar como planta hospedera el maíz (*Zea mays*) para su multiplicación o producción de inóculos de HMA, teniendo en cuenta de estudiar la presencia y el efecto sobre la capacidad de asociación micorrízica.
- Continuar con las investigaciones morfológicas y moleculares de consorcios de HMA nativos de sistemas agroforestales asociados al café, con el propósito de identificar nuevas especies para su uso en la agricultura sostenible y la mejora de la producción de café.
- Utilizar diversos sustratos en la multiplicación de micorrizas, tales como: vermiculita, perlita, arcillas, diversos residuos forestales y agrícolas, permitiendo el establecimiento funcional de la simbiosis micorrízica que incrementaría la producción de plantas saludables y mejoraría la sostenibilidad de los sistemas de cultivo.
- Se recomienda continuar con investigaciones sobre la propagación de esporas de consorcios de HMA nativos de sistemas agroforestales asociados al café con el propósito de generar alternativas biotecnológicas como los biofertilizantes y bioestimulantes a base de compuestos orgánicos, hongos micorrízicos u otros microorganismos promotores del crecimiento vegetal a gran escala y potenciar la agricultura sustentable y amigable con el ambiente.

10. Bibliografía

- Aguilar-Ulloa, W., Arce-Acuña, P., Galiano-Murillo, F., & Torres-Cruz, T. J. (2016). Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(7), 5. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i7.2700>
- Alva Pérez, J. A. (11 de Abril de 2019). Producción masiva de hongos micorrízicos arbusculares utilizando plantas trampa e inóculo de suelo rizosférico de café proveniente de diferentes altitudes de San Martín. Obtenido de <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3587/AGRONOMIA%20-%20Jessica%20de%20Fatima%20Alva%20P%C3%A9rez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barrera, J., & Arango, G. (2015). Uso y manejo de las micorrizas: Investigación en cultivos. *Universidad Nacional de Palmira. Gerente de Agrotecnia Ltda. Colombia, localizado en Colombia, localizado en <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/uso-manejo-micorrizas-investigacion-t32322.htm> Consultado, 5, 12-18.*
- Barrios, M. B., Buján, A., Debelis, S. P., Sokolowski, A. C., Blasón, Á. D., Rodríguez, H. A., López, S. C., De Grazia, J., Mazo, C. R., Gagey, M. C., Barrios, M. B., Buján, A., Debelis, S. P., Sokolowski, A. C., Blasón, Á. D., Rodríguez, H. A., López, S. C., De Grazia, J., Mazo, C. R., & Gagey, M. C. (2014). Relación de raíz/biomasa total de Soja (*Glycine max*) en dos sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 221-230. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S018757792014000300221&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Berdugo, S. E. B. (2009). El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), Art. 1. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/706>
- Bertolini, V., Montaña, N. M., Chimal Sánchez, E., Varela Fregoso, L., Gómez Ruiz, J., Martínez Vázquez, J. M., Bertolini, V., Montaña, N. M., Chimal Sánchez, E., Varela Fregoso, L., Gómez Ruiz, J., & Martínez Vázquez, J. M. (2018). Abundancia y riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en cafetales de Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(1), 91-105. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i1.27946>

- Blanco, Y., Afifi, M., & Swanton, C. J. (2015). Efecto de la calidad de la luz en el cultivo del maíz: Una herramienta para el manejo de plantas arvenses. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 62-71. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362015000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Carrenho, R., Trufem, S. F., & Bononi, V. L. (2002). Effects of using different host plants on the detected biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi from an agroecosystem. *Brazilian Journal of Botany*, 25, 93-101.
- Cedeño, F. I. P. (2010). “EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVAS SOBRE EL DESARROLLO Y ESTADO.
- Chamba, M. E. A. (2012). GERMINACIÓN EN LABORATORIO E INFLUENCIA DE LOS HONGOS MICORRÍZICOS Y LA APLICACIÓN DE NUTRIENTES EN EL CRECIMIENTO DE DOS PROCEDENCIAS DE *Cinchona pubescens*, A NIVEL DE INVERNADERO”.
- Chimal-Sánchez, E., Montaña, N. M., Camargo-Ricalde, S. L., García-Sánchez, R., & Hernández-Cuevas, L. V. (2016). Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(1), 242-247. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.024>
- Esquivel-Quispe, R. (2020). Propagación de hongos micorrizógenos arbusculares nativos y su influencia en la producción de maíz Amiláceo en Paquecc-Ayacucho. Primera parte: Propagación en cultivos asociados en invernadero. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(1), 42-52. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S230838592020000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Furrazola, E., Ojeda, L., & Hernández, C. (2016). Mycorrhizal colonization and species of arbuscular mycorrhizal fungi in grasses from the Cuenca Pecuaria “El Tablón”, Cienfuegos, Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(2).
- García-Núñez, H. G., Martínez-Campos, Á. R., Hermosa-Prieto, M. R., Monte-Vázquez, E., Aguilar-Ortigoza, C. J., González-Esquivel, C. E., García-Núñez, H. G., Martínez-

- Campos, Á. R., Hermosa-Prieto, M. R., Monte-Vázquez, E., Aguilar-Ortigoza, C. J., & González-Esquivel, C. E. (2017). Caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de *Trichoderma* y su potencial de biocontrol sobre *Phytophthora infestans*. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(1), 58-79. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1605-4>
- Gavilanes Velasco, A. S. (2019). "*Evaluación de complejos micorrízicos asociados al cultivo de plántulas de café (Coffea canephora)*" (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB. 2019).
- Gómez, S. P. M., Berdugo, S. E. B., & Mena, R. A. M. (2020). Occurrence of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of the naidí palm in Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), Article 3. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1275
- Guachanamá, J., & Urgiles, N. (2020). *Aislamiento e identificación morfológica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales en el sur del Ecuador*. [Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Nacional de Loja.
- Jefwa, J. M., Sinclair, R., & Maghembe, J. A. (2006). Diversity of glomale mycorrhizal fungi in maize/sesbania intercrops and maize monocrop systems in southern Malawi. *Agroforestry Systems*, 67(2), 107.
- Lalangui, C., & Urgiles, N. (2018). *Aislamientos e identificación de morfotipos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en tres zonas riparias del cantón Loja enfocados a la producción de bioinoculantes* [Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Nacional de Loja.
- Lovera, M., & Cuenca, G. (2007). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (hma) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la gran sabana, venezuela. *Interciencia*, 32(2), 108-114. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S037818442007000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Medina, L. R., Rodríguez, Y., Torres, Y., & Herrera, R. (2010). Aislamiento e identificación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de la zona de las Caobas, Holguín. *Cultivos Tropicales*, 31(3), 00-00.
- Mena Echevarría, A., Fernández, K., Olalde, V., & Serrato, R. (2013). Diferencias en la respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la inoculación con *Glomus cubense* (Y. Rodr. & Dalpé) y con un conglomerado de especies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). *Cultivos Tropicales*, 34(2), 12-15.
- Morera, J. L. R. (2001). Efecto del biofertilizante Mycoral® (micorriza arbuscular) en el desarrollo del café (*Coffea arabica* L.) en vivero en Zamorano, Honduras.
- Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*, 32(2), 1-1. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942009000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Ochoa, M. (2019). Multiplicación de micorrizas en tres diferentes sustratos en simbiosis con plantas trampa de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y albahaca (*Ocimum basilicum*) en condiciones de invernadero.
- Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., & Wiemken, A. (2004). Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia*, 138, 574-583.
- Oliva, C. V. (2017). PROBLEMAS AMBIENTALES Y DE SALUD DERIVADOS DEL USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS. 20. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/CRISTINA%20VEGA%20OLIVA.pdf>
- Peréz, A. C., Rojas, J. S., & Montes, D. V. (2011). Hongos formadores de micorrizas arbusculares: Una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 3(2), Art. 2. <https://doi.org/10.24188/recia.v3.n2.2011.412>
- Pérez-Luna, Y., Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Vega, J., Pat-Fernández, J. M., Gómez-Álvarez, R., & Cuevas, L. (2012). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México/Diversity of arbuscular

- mycorrhizal fungi in maize with cover crops and biofertilizers in Chiapas, Mexico. *Gayana. Botánica*, 69(1), 46.
- Prates, P., Moreira, B. C., da Silva, M. D. C. S., Veloso, T. G. R., Stürmer, S. L., Fernandes, R. B. A., ... & Kasuya, M. C. M. (2019). Agroecological coffee management increases arbuscular mycorrhizal fungi diversity. *PLoS One*, 14(1), e0209093.
- Prieto-Benavides, O. O., Belezaca-Pinargote, C. E., Mora-Silva, W. F., Garcés-Fiallos, F. R., Sabando-Ávila, F. A., & Cedeño-Loja, P. E. (2012). Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en Sistemas Agroforestales con cacao en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Agronomía mesoamericana*, 23(2), 233-239.
- 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. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212012000200002
- Quiñones-Aguilar, E. E., Hernández Cuevas, L. V., López Pérez, L., Rincón Enríquez, G., Quiñones-Aguilar, E. E., Hernández Cuevas, L. V., López Pérez, L., & Rincón Enríquez, G. (2019). Efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de rizósfera de Agave como promotores de crecimiento de papaya. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 163-174. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.397>
- Restrepo Giraldo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., Molina Guzmán, L. P., Restrepo Giraldo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., & Molina Guzmán, L. P. (2019). Characterization of arbuscular mycorrhizal fungi of livestock soils in tropical lowlands and tropical highlands in the department of Antioquia, Colombia. *Idesia (Arica)*, 37(1), 35-44. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000301>
- Reyes-Pérez, J. J., Enríquez-Acosta, E. A., Ramírez-Arrebato, M. Á., Rodríguez-Pedroso, A. T., & Falcón-Rodríguez, A. (2020). Efecto de ácidos húmicos, micorrizas y quitosano en indicadores del crecimiento de dos cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(3), 653-666. <https://www.redalyc.org/journal/573/57364776018/html/>

- Rodríguez, G. P. (2015). Impactos Ambientales del Sector Agrícola y los Agroquímicos en Casanare en el Periodo 2015 – 2020.
- Ruiz, M. S., Polón Pérez, R., Vázquez Del Llano, B., Muñoz Hernández, Y., Cuéllar Olivero, N., & Ruiz-Lozano, J. M. (2012). La simbiosis micorrizíca arbuscular en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) sometidas a estrés hídrico: Parte I. Mejora la respuesta fisiológica. *Cultivos Tropicales*, 33(4), 47-52. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362012000400006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Sangabriel-Conde, W., Trejo-Aguilar, D., Soto-Estrada, A., & Alvarado-Castillo, G. (2017). Diversidad y funcionalidad de hongos micorrizico-arbusculares en plantaciones de *Carica papaya* L., con diferente manejo agronómico. *AGROProductividad*, 10(9), 90-95.
- Schüßler, A., & Walker, C. (2010). The Glomeromycota. The Royal Botanic Garden Kew.
- Tapia-Goné, J., Ferrera-Cerrato, R., Varela-Fregoso, L., Rodríguez Ortiz, J. C., Lara Mireles, J., Soria Colunga, J. C., Cuellar Torres, H., Tiscareño Iracheta, M. A., & Cisneros Almazán, R. (2008). Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, en cinco suelos salinos del estado de San Luis Potosí, México. *Revista mexicana de micología*, 26, 1-7. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-31802008000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Terry-Alfonso, E., Ruiz-Padrón, J., & Carrillo-Sosa, Y. (2018). Efecto de diferentes manejos nutricionales sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate1. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 389-401. <https://www.redalyc.org/journal/437/43755165012/html/>
- Trejo, D., Ferrera-Cerrato, R., Garcia, R., Varela, L., Lara, L., & Alarcon, A. (2011). Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal fungi consortia on coffee plants under greenhouse and field conditions. *Revista chilena de historia natural*, 84(1), 23-31.
- Urgiles-Gómez, N., Guachanamá-Sánchez, J., Granda-Mora, I., Robles-Carrión, Á., Encalada-Cordova, M., Loján-Armijos, P., & Quichimbo-Saraguro, L. (2020). Caracterización morfológica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latid. Cero*, 10, 137-145.

- Valencia, C., & Zúñiga, D. (2015). Análisis de la presencia natural de micorrizas en cultivos de algodón (*Gossypium barbadense* L.) inoculados con *Bacillus megaterium* y/o *Bradyrhizobium yuanmingense*. *Ecología Aplicada*, 14(1), 65-69. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1726-22162015000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Villacrés, B., Medina, M., Cumbal, L., & Villaroel, A. (2014, May). Implementación de un banco de Hongos Micorrícicos Arbusculares, aislados de suelos del área de influencia de EP PETROCUADOR y su efecto en el desarrollo de plantas de Maíz (*Zea mays*) en condiciones de estrés por cadmio, en La Joya de los Sach
- Zapata, J. A. R., Zapata, D. M., Chávez, P. G., & Sánchez, L. C. (2012). Hongos micorrízico-arbusculares.
- Zappa, R. C. J., & Ortega, A. A. N. (2013). DIVERSIDAD DE GENEROS DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES ASOCIADOS A PASTO COLOSUANA (*BOTHRIOCHLOA PERTUSA* (L) A. CAMUS) EN SUELOS COMPACTADOS Y NO COMPACTADOS DEL MUNICIPIO DE SAN MARCOS-DEPARTAMENTO DE. 120. <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/570/T589.2%20J61.pdf;jsessionid=4A0FA11F17DE8EE70CBEBBC381A661016?sequence=1>

11. Anexos



Anexo 1. Multiplicación de inóculo y/o biofertilizante de HMA (Cultivos trampa en plantas de maíz).



Anexo 2. Análisis de la biomasa foliar y radicular de las plantas de maíz (*Zea mays*) de los cinco sistemas agroforestales Malacatos (Hacienda Cristal), Chaguarpamba, Lozumbe, Zapotepamba y la Argelia de la provincia de Loja.



Anexo 3. Tamizado de muestras de suelo procedentes de los sistemas agroforestales.

Laboratorio de Fisiología Vegetal. FARNR

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	15	0,17	0,00	56,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	4	3,3E-03	0,50	0,7388
Tramamiento	0,01	4	3,3E-03	0,50	0,7388
Error	0,07	10	0,01		
Total	0,08	14			

Anexo 4. Análisis de varianza y test de Tukey para la variable biomasa foliar ($p > 0,05$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Biomasa	15	0,22	0,00	48,27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,21	4	0,55	0,71	0,6044
Tramamiento	2,21	4	0,55	0,71	0,6044
Error	7,81	10	0,78		
Total	10,02	14			

Anexo 5. Análisis de varianza y test de Tukey para la variable biomasa radicular ($p > 0,05$)

Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en sistemas agroforestales asociados al cultivo de café en la provincia de Loja

Narcisa Urgiles-Gómez^{1*}, Luz Cabrera², Michael Tucto², Miguel Villamagua³, Fernanda Livisaca³, Paúl Loján⁴, María Ávila-Salem⁵, María Ochoa⁶

- ¹ Docente, Investigador, Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- ² Estudiante de la Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- ³ Docente, Investigador, Carrera de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- ⁴ Docente, Investigador, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- ⁵ Docente, Investigador, Carrera de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- ⁶ Estudiante de la Maestría de Agroecología y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

Autor por correspondencia: narcisa.urgiles@unl.edu.ec

INTRODUCCIÓN

Entre los microorganismos más importantes en el sistema suelo-planta se encuentran los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) que forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas y cumplen funciones importantes en la nutrición mineral y absorción de agua en la planta hospedera (Pérez *et al.*, 2011). Están presentes de forma natural en el 85% de las especies vegetales (Zappa & Ortega, 2013). Según Urgiles *et al.*, (2021) la biodiversidad florística de los sistemas agroforestales (SAFs) está relacionada con diversidad de los consorcios de los HMA, por lo tanto la presente investigación, ha estado enfocada en determinar morfológica y cuantitativamente los principales géneros de HMA de los SAFs asociados al cultivo del café en la provincia de Loja, con el objetivo de conocer y describir la biodiversidad de HMA, y posteriormente establecer consorcios nativos de micorrizas nativas para ser aplicado en el cultivo del café y así generar bioconocimiento técnico-científica que permita conservar las comunidades microbianas autónomas en ecosistemas más sustentables y amigables con el ambiente.

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a efecto en cinco SAFs con cafetales de la provincia de Loja (Tabla 1).



Fig. 1. Ubicación geográfica de las zonas de colecta de las fuentes de inóculo de HMA de SAFs de la provincia de Loja, Ecuador.

MÉTODOS

Aislamiento y caracterización de morfotipos de la biodiversidad de HMA provenientes de SAFs de la provincia de Loja.



Fig. 2. Cultivos trampa de HMA provenientes con suelos de SAFs de cafetales de la provincia de Loja y propagados en plantas hospederas de maíz (*Zea mays*).

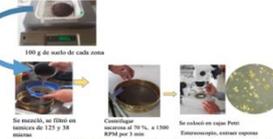


Fig. 3. Aislamiento y caracterización morfológica de esporas de consorcios nativos de HMA de SAFs de la provincia de Loja.

RESULTADOS

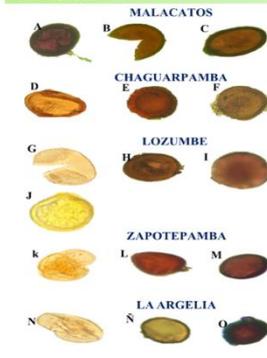


Fig. 4. Biodiversidad de consorcios nativos de HMA provenientes de SAFs asociados a cafetales de la provincia de Loja. *Glomus* spp (A, B, C, E, G, H, I, N, Ñ, O), *Acaulospora* spp (D, M), *Scutellospora* spp (F) y *Gigaspora* spp (J).

Tabla 1. Diversidad de HMA provenientes de SAFs de cafetales de la provincia de Loja.

SAFs con cafetales	Morfotipos de HMA	Nº. esporas	Total de esporas
Malacatos (Hacienda el Cristal)	1	95	280
	2	107	
	3	78	
Chaguarpamba	4	83	320
	5	135	
	6	102	
Lozumbe	7	30	230
	8	50	
	9	70	
	10	80	
Zapotepamba Quinta experimental FARNR-UNL	11	80	180
	12	60	
	13	40	
La Argelia experimental FARNR-UNL	14	40	120
	15	30	
	16	50	

CONCLUSIONES

- Mediante la identificación morfológica de esporas se hallaron 16 morfotipos de HMA nativos, agrupadas en cuatro géneros en toda la zona de estudio. El orden más representativo fue el género *Glomus*, seguido de los géneros *Acaulospora*, *Gigaspora*, y *Scutellospora*, por lo tanto tiene un uso potencial como biofertilizante en cultivos agrícolas y de interés comercial como el café.
- La planta hospedera de maíz (*Zea mays*) empleada como planta trampa obtuvo 320 esporas/100 g suelo en el consorcio de HMA nativos de Chaguarpamba, misma que está relacionada con la mayor diversidad florística que posee el SAF en la provincia de Loja.

AGRADECIMIENTO

A la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Loja por el apoyo económico y logístico dentro del proyecto: 10-DI-FARNR-2022.

BIBLIOGRAFÍA

- Pérez, A., Rojas, J., & Montes, D. (2011). Hongos formadores de micorrizas arbusculares: Una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 3(2), Art. 2.
- Urgiles-Gómez, N., Guachanamá-Sánchez, J., Granda-Mora, K., Robles, A., Encalada-Cordova, M., Loján, P., Ávila-Salem, M., Hurtado, L., & Poma López, L. (2021). Morphological characterization of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) associated with coffee in Agroforestry Systems of Loja, Ecuador. 10(2), 137-145.
- Zappa, R., & Ortega, A. (2013). Diversidad de géneros de hongos formadores de micorrizas arbusculares asociados a pasto coqueusana (*Bothriochloa pertusa* L.) *A. Camus* en suelos compactados y no compactados del municipio de San Marcos, Sucre-Colombia. *Scientia fungorum*, 7(2), 120. 10.24188/recia.v7.n2.2015.267

Anexo 6. Poster científico: Diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares en sistemas agroforestales asociados al cultivo de café en la provincia de Loja. Presentación en el SIMPOSIO Ecuatoriano-Alemán. Diversidad frente al cambio global: consecuencias para los ecosistemas. Desarrollado el 30 y 31 de marzo de 2023, en la Universidad Técnica Particular de Loja.

TEMA

Propagación y caracterización morfológica de consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) provenientes de cafetales de sistemas agroforestales (SAF) de la provincia de Loja.

INTRODUCCIÓN

Uno de los microorganismos más importantes en el interior del sistema suelo-planta lo constituyen los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) que forman asociaciones micorrízicas con las raíces de la vegetación y están consideradas simbioses universales, por lo que están presentes de forma natural en el 85% de las especies vegetales (Zappa & Ortega, 2013), y cumplen funciones de proteger al sistema radicular de agentes patógenos, mejorar la nutrición mineral y absorción de agua en la planta hospedera (Pérez *et al.*, 2011).

SIMBIOSIS POR MICORRIZAS



Figura 1. Proceso simbiótico de los hongos micorrízicos

METODOLOGÍA.

Ubicación Geográfica de las áreas de colecta



Figura 2. Ubicación espacial de las áreas de colecta de las fuentes de inóculo de HMA de la provincia de Loja, Ecuador.

Multiplicación de inóculo y/o biofertilizante de HMA (Cultivos trampa en plantas de maíz).



Figura 3. Multiplicación de inóculo y/o biofertilizante de HMA (Cultivos trampa en plantas de maíz).

Analizar biomasa seca foliar de las plantas trampa de maíz (*Zea mays*)

B=Biomasa

r = Peso seco / peso fresco

Loja-Ecuador 2023

Analizar biomasa radicular de las plantas trampa de maíz (*Zea mays*)

$$H(\%) = \frac{Pf - Ps}{Pf} * 100 \text{ [ecuación 1]}$$

$$B = Pf * 1 - \frac{H}{100} \text{ [ecuación 2]}$$

Aislamiento de HMA

El aislamiento de esporas de HMA nativos se realizó mediante la técnica del tamizado húmedo y decantación.



Figura 4. Tamizado de muestras de suelo procedentes de los sistemas agroforestales. Laboratorio de Fisiología Vegetal. FARN

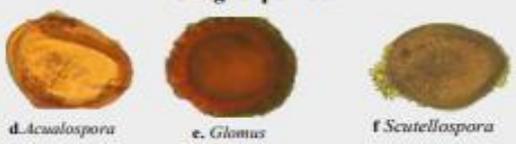
RESULTADOS Y DISCUSIONES

Malacatos



a,b,c: *Glomus*

Chaguarpamba



d. *Acaulospora* e. *Glomus* f. *Scutellispora*

Lozumbe



g, h, j: *Glomus* - j: *Gigaspora*

Zapotepamba



k, l, m: *Glomus* - m: *Acaulospora*

La Argelia



n, o, p: *Glomus*

CONCLUSIONES

Mediante la identificación morfológica de esporas se hallaron 15 morfo tipos de Hongos micorrizicos agrupadas en tres géneros en toda la zona de estudio. El orden más representativo fue el género *Glomus*, seguido de los géneros *Acaulospora* y *Gigaspora*

RECOMENDACIONES

Continuar con las investigaciones morfológicas de las esporas de HMA de sistemas asociados al café, con el propósito de identificar nuevas especies.

BIBLIOGRAFÍA

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 micorrizicos arbúsculares en Sistemas Agroforestales con cacao en el Trópico Húmedo Ecuatoriano*.

Zappa, R. C. J., & Ortega, A. A. N. (2013). *DIVERSIDAD DE GENEROS DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES ASOCIADOS A PASTO COLOSUANA (BOTHRIOCHLOA PERTUSA (L) A. CAMUS) EN SUELOS COMPACTADOS Y NO COMPACTADOS DEL MUNICIPIO DE SAN MARCOS-DEPARTAMENTO DE*. 120.

Loja-Ecuador 2023



Universidad Nacional de Loja



Carrera de Ingeniería Agronómica

Tema: Propagación y caracterización morfológica de consorcios nativos de hongos micorrizicos arbúsculares (HMA) provenientes de cafetales de sistemas agroforestales (SAF) de la provincia de Loja.

Estudiante: Luz Florencia Cabrera Cabrera

Docente: Ing. Narcisa Urgiles Gómez PhD

Anexo 7. Tríptico divulgativo sobre: Propagación y caracterización morfológica de consorcios nativos de Hongos Micorrizicos Arbúsculares (HMA) provenientes de cafetales de sistemas agroforestales (SAF) de la provincia de Loja. Día de campo para la socialización de resultado.



FINE-TUNED ENGLISH LANGUAGE INSTITUTE

Líderes en la Enseñanza del Inglés

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
DOCENTE DE FINE-TUNED ENGLISH CÍA. LTDA.

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés, del Resumen de Tesis titulada: "PROPAGACIÓN Y CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE CONSORCIOS NATIVOS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBÚSCULARES (HMA) PROVENIENTES DE CAFETALES AGROFORESTALES (SAF) DE LA PROVINCIA DE LOJA", autoría de la Estudiante Luz Florencia Cabrera Cabrera, con CI. 1150589487, egresada en la Carrera de Agronomía, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza a la interesada, hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 05 de julio de 2023.


Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
DOCENTE DE FINE-TUNED ENGLISH CÍA. LTDA.



Líderes en la Enseñanza del Inglés

Matriz - Loja: Macará 205-51 entre Rocafuerte y Miguel Roldán - Teléfono: 072578899
Zamora: García Moreno y Pasaje 12 de Febrero - Teléfono: 072606189
Yantzaza: Jorge Mosquera y Luis Bastidas - Edificio Sindicato de Choferes - Teléfono: 072301329

www.fte.edu.ec