Identificación de los géneros de hongos formadores de Micorrizas Arbusculares nativos asociados a fincas ganaderas (zonas de transición y zonas de bosques) en los suelos del corredor ecológico -Villavicencio.

Nombres y apellidos completos del autor o autores

Sandra Yamile Palacio Jaramillo

ID:769613

María cristina Buitrago Ruiz

ID: 714838

Línea de investigación

Innovaciones sociales y productivas

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Vicerrectoría Regional Orinoquía

Sede Villavicencio (Meta)

Programa Ingeniería Agroecológica

septiembre de 2025

Identificación de los géneros de hongos formadores de Micorrizas Arbusculares nativos asociados a fincas ganaderas (zonas de transición y zonas de bosques) en los suelos del corredor ecológico -Villavicencio.

Sandra Yamile Palacio Jaramillo
María cristina Buitrago Ruiz

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Agroecológico

Asesora
Bióloga y Mg Martha Lucia Velasco Belalcázar
Co asesor
Biólogo y Mg Carlos Alberto Hernández Medina

Título académico
Ingeniero en agroecología

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Vicerrectoría Regional Orinoquía
Sede Villavicencio (Meta)
Programa Ingeniería Agroecológica
septiembre de 2025

Dedicatoria

Queremos expresar gratitud con Dios, por la fortaleza y sabiduría que nos dio para poder enfrentar las circunstancias, para avanzar en nuestro proceso de formación desde la responsabilidad, dedicación y amor por la meta trazada. También es importante recalcar el agradecimiento infinito a nuestros seres queridos, esposos, hijas y amigos que nos acompañaron con paciencia para que fuese posible completar con éxito esta investigación, para que pudiésemos llegar a la culminación de nuestro proceso formativo, como ingenieras en agroecología. De tal manera el agradecimiento desde lo profundo de nuestros corazones, es para cada una de las personas que hicieron parte de este tan anhelado proyecto.

Agradecimientos

En primera instancia deseamos expresar el reconocimiento a Dios, dueño de todo en la tierra y quien permite que cada proyecto o proceso que emprendemos se lleve a cabo de la mejor manera, mediante la sabiduría práctica que nos brinda. Del mismo modo es de gran importancia extender el reconocimiento al asesor y Coasesor de proyectó. Martha Lucia Velasco Belalcázar y Carlos Alberto Hernández Medina. Su guía y acompañamiento continúo sin escatimar en esto, contribuyeron a la ejecución de este proyecto, por medio de su adecuada orientación desde el ámbito profesional y humano que los caracteriza. Es así, que su paciencia y motivación han logrado dejar en nosotras un impacto positivo en el ámbito de la formación como profesional.

No obstante, también es muy importante para nosotras extender agradecimiento a nuestras familias por el apoyo y acompañamiento en todas las fases de este proceso de formación, del mismo modo a cada compañero y demás docentes que de una u otra manera aportaron dentro de nuestro proceso ya sea de forma directa o indirecta, porque, al final de todo somos del aprendizaje en conjunto. Por último, queremos, expresar nuestro agradecimiento a la Corporación Universitaria Minuto de Dios (UNIMINUTO). Por brindar la oportunidad de llevar a cabo proyectos de investigación y por ofrecer diversos semilleros de investigación en nuestro programa académico, lo que ha contribuido significativamente a nuestro desarrollo académico y profesional.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo identificar los géneros de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) nativos en fincas productoras de bovinos dentro del corredor ecológico de Villavicencio-Meta, analizando su relación con diferentes grados de intervención antrópica. Para ello, se tomaron 18 muestras de suelo rizosférico en zonas boscosas y áreas de transición. A estas se les realizó la extracción de esporas de HFMA, aplicando la técnica de decantación y tamizado húmedo. Las esporas obtenidas fueron contadas e identificadas, complementando el estudio con análisis de pH para correlacionar los resultados con la abundancia de HMA. Luego de realizar la extracción y posterior identificación de 232.125 esporas, se encontró un total de 55 morfo-especies de esporas de HMA en las fincas evaluadas. Estas morfoespecies se encontraban clasificadas taxonómicamente en cuatro órdenes (Diversisporales, Entrophosporales, Glomerales, Paraglomerales). De igual forma se encontró que el género *Glomus* presentó el mayor número de morfos (23), seguido de *Acaulospora* (12), *Gigaspora* (6), *Scutellospora* (5), *Sclerocystis* (3), *Claroideoglomus* (2), *Paraglomus* (2), *Entrophospora* y *Funneliformis* con solo una (1) morfoespecie. Así mismo, se observó que, en todas las fincas, la zona de bosque presenta un mayor número de especies y de número de esporas por cada 100gr de suelo, este hecho se corroboró con los resultados del análisis de varianza y la prueba post-hoc de Mann–Whitney, en los que se encontró diferencia significativa entre bosque y pastizal ($p=0.000001$). Por otro lado, se encontró que existe una relación directamente proporcional entre el pH y en número de esporas, es decir, a mayor pH, mayor número de esporas. Por otro lado, los hallazgos de este estudio contribuyen al diseño de estrategias agroecológicas que favorezcan la conservación del suelo y la eficiencia productiva en sistemas ganaderos.

Palabras clave: Biodiversidad, biorremediación, hongos, micorrizas, restauración, simbiosis, suelos.

Abstract

The present study aimed to identify the genera of native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on cattle farms within the Villavicencio-Meta ecological corridor, analyzing their relationship with different degrees of human intervention. To this end, 18 rhizospheric soil samples were taken from forested and transitional areas. AMF spores were extracted from these samples using the decantation and wet sieving technique. The spores obtained were counted and identified, and the study was complemented by pH analysis to correlate the results with AMF abundance. After extracting and subsequently identifying 232,125 spores, a total of 55 AMF spore morphospecies were found on the evaluated farms. These morphospecies were taxonomically classified into four orders (Diversisporales, Entrophosporales, Glomerales, Paraglomerales). Similarly, it was found that the genus Glomus presented the highest number of morphs (23), followed by Acaulospora (12), Gigaspora (6), Scutellospora (5), Sclerocystis (3), Claroideoglomus (2), Paraglomus (2), Entrophospora and Funneliformis with only one (1) morphospecies. It was observed that in all farms, the forest area has a higher number of species and number of spores per 100g of soil, this fact was corroborated by the results of the analysis of variance and the Mann-Whitney post-hoc test, in which a significant difference was found between forest and pasture ($p=0.000001$). On the other hand, it was found that there is a directly proportional relationship between pH and the number of spores, that is, the higher the pH, the greater the number of spores. The findings of this study contribute to the design of agroecological strategies that promote soil conservation and productive efficiency in livestock systems.

Keywords: Biodiversity, bioremediation, fungi, mycorrhizae, restoration, symbiosis, soils.

Tabla de contenido

1.Introducción 11

2.Problema 15

2.1Antecedentes del problema 15
2.2Planteamiento del problema 15
2.3Formulación del problema 18
3.Justificación 19

4.Objetivos 23

4.1Objetivo general 23
4.2Objetivos específicos 23
5.Marco referencial 24

6.Aspectos metodológicos de la Investigación 31

6.1Tipo de estudio 31
6.2Enfoque 31
6.3Área de estudio 31
6.3.1Selección fincas 32
6.3.1Toma de muestras en campo. 34
6.3.1Procedimiento de extracción de hongos formadores de micorrizas arbusculares 35
6.3.1Clasificación y determinación de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) 37
6.4Diseño experimental y análisis estadístico 40
7.Resultados y discusión 42

Conclusiones 78

Recomendaciones 79

Bibliografía 80

Anexos 91

Lista de Figuras

Figura 1 28

Figura 2 31

Figura 3 35

Figura 4 36

Figura 5 37

Figura 6 39

Figura 7 42

Figura 8 53

Figura 9 54

Figura 10 54

Figura 11 55

Figura 12 55

Figura 13 56

Figura 14 56

Figura 15 58

Figura 16 58

Figura 17 59

Figura 18 60

Figura 19 61

Figura 20 61

Figura 21 67

Figura 22 69

Lista de Tablas

Tabla 1 30

Tabla 2 34

Tabla 3 46

Tabla 4 64

Tabla 5 65

Tabla 6 70

Lista de Anexos

Anexo 1 91

Anexo 2 ..... *95*

1. Introducción

Colombia cuenta con una amplia variedad de flora y fauna, lo que ha llevado al país a ser considerado uno de los diecisiete países megadiversos dado por el Centro de Monitoreo de la Conservación del Ambiente. Según datos del DANE (2018), indica que se presentó un decrecimiento de 10,5% en relación al año 2017 y de 24,5% respecto al 2015, año en el cual se obtuvo el pico máximo en la pérdida de biodiversidad y los ecosistemas en el país durante el tiempo de análisis realizados (2002-2018). La diversidad de especies vegetales, son de elevada importancia dentro del ámbito ambiental y socioeconómico, sin embargo, vale resaltar que, estas crecen y se desarrollan de manera más efectiva mediante las interacciones simbióticas con los hongos formadores de micorrizas, proporcionando mejor absorción de nutrientes esenciales, según (Werner & Kiers, 2015). Del mismo modo, esta asociación lleva a la mejoría de las propiedades del suelo y crea condiciones ideales que apoyan el crecimiento de las plantas, lo que contribuye en cuanto a la salud, eficiencia y productividad de los diversos ecosistemas terrestres (Saldaña et al., 2022). En la simbiosis micorrízica, las plantas apoyan a los hongos micorrízicos principalmente en la proporción de carbohidratos, tales como azucares derivados de la fotosíntesis, ofrecen un ambiente protegido entre muchas cosas, por otro lado, los hongos apoyan a las plantas en la toma de nutrientes esenciales, nitrógeno, fósforo, agua desde donde las raíces por si solas no alcanzarían, un microambiente favorable, entre muchos otros beneficios. En consecuencia, los microorganismos que se encuentren presentes en estas zonas son muy importantes en la proporción de los nutrientes a las plantas, con mayor necesidad donde se tengan suelos con baja vida edáfica.

El manejo de forma inadecuada frente a estos microorganismos puede llevar a una afectación significativa en la absorción de nutrientes de las plantas. Por ello, preservar, promover y

mantener la salud de la rizosfera es de impacto significativo porque contribuye notablemente al suministro y acceso de los nutrientes que son necesarios dentro del crecimiento vegetal. (Navarro, 2013). Por otra parte, Los ecosistemas agrícolas y ganaderos vienen juegan un papel muy importante dentro de la productividad y la sostenibilidad de los suelos. En este sentido, los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) son los encargados de la colonización del tejido intrarradical de las plantas hospederas, allí desarrollan estructuras características de la simbiosis (arbúsculos y vesículas), así mismo, como micelio extra radical, interactúa con los ecosistemas de la rizosfera, siendo el encargado de la absorción necesaria de los nutrientes del suelo. (Koide & Mosse, 2004). Según Ruiz et al., (2015) dice que, los hongos micorrízicos son un elemento importante cuando se habla de conservar y mantener la salud del suelo permitiendo de tal manera aumentar el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, el papel que juegan estos dentro de la cría de animales bovinos no ha sido ampliamente explorado ni comprendido desde el contexto de necesidad para lograr obtener una conservación en sinergia. En este marco de ideas, el objetivo principal de este proyecto se centró en la caracterización de micorrizas en las zonas ganaderas del corredor ecológico de Villavicencio, Meta, con el propósito de ampliar la comprensión de su diversidad, distribución y funciones específicas. Aunque existen estudios previos sobre macrohongos en los bosques de la region -Villavicencio (Franco-Molano, 2010), no se han realizado investigaciones sobre micorrizas en la zona de estudio. Esta caracterización de microorganismos es crucial para generar conocimiento y aportar a la investigación en la región. En

este sentido el estudio se centró en evaluar la relación entre las micorrizas y las variables edafológicas (pH, manejos y cantidad de hongos formadores de micorrizas) presentes en los predios de los productores. Además, se buscó analizar la relación entre las micorrizas y la vegetación, así como su impacto en el desempeño de los proyectos agrícolas y pecuarios teniendo en cuenta qué los resultados obtenidos en este estudio proporcionarán información valiosa para los productores sobre el estado de sus suelos y la relación entre las micorrizas y la productividad agrícola y pecuaria. Esto permitirá tomar decisiones informadas para mejorar la gestión de los recursos naturales y aumentar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y pecuarios en la región.

2. Problema

2.1 Antecedentes del problema

Se han realizado infinidad de estudios sobre las micorrizas, relación simbiótica, funciones y los efectos de estas, así es que los informes se enfocan en cuantificar y así mismo conservar y mantener la simbiosis, (Leblanc & Márquez, 2014). Históricamente la investigación referente a las asociaciones micorrícicas se ha centrado en los efectos de la simbiosis en plantas individuales, en particular, en la mejora de adquisición de nutrientes minerales disueltos, como fósforo (P). Esta contribución se torna fundamental en el establecimiento y crecimiento vegetal de plantas que se desarrollan en condiciones adversas como zonas áridas con baja fertilidad, existen grupos específicos de microorganismos que establecen relaciones benéficas con las plantas que pueden mejorar el crecimiento de éstas. El desarrollo vegetal puede incrementarse con la utilización de microorganismos que actúen en la interfase suelo-raíz, entre estos cabe resaltar a los hongos formadores micorriza arbusculares (HMA). Algunas relaciones planta – microorganismos son indispensables para el normal desarrollo de ambos organismos, tal es el caso de los HMA, que forman una asociación mutualista (micorriza) con las raíces de cerca del 90 % de las especies de plantas. Los beneficios de este mutualismo para la planta son variados y especialmente notables en condiciones adversas de crecimiento. La micorriza evolucionó a tal grado que el hongo micorrícico no puede completar su ciclo de vida sin asociarse con la planta, a su vez muchas especies vegetales requieren de la micorriza para un desarrollo normal

2.2 Planteamiento del problema

De acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1998) cuando se habla de suelos deja ver una gran preocupación en el avance de la degradación de éstos en Colombia,

de manera notable se puede ver mediante cifras dadas por esta institución que alcanza niveles preocupantes, teniendo pérdida de carácter anual de entre 170,000 y 200,000 toneladas por ha. Donde la erosión logra afectación de alrededor de 56 millones de hectáreas, de las cuales el 60 % se relacionan con la región Andina (Rivera & Gómez., 1991). Dejando a la ganadería una ocupación de alrededor del 80% de las tierras con objetivos agrícolas que son usadas para pastoreo y producción. De acuerdo con Ordoñez & Quishpillo (2022), establecen, que la actividad agropecuaria esta activa y la podemos encontrar en diversos paisajes agrícolas, teniendo influencia significativa, con respeto a la composición y actividad de las micorrizas, esto dado en posibilidad con las prácticas como el sobre pastoreo, la fertilización y el manejo del suelo, no planificada y ejecutada de acuerdo a las necesidades de cada sector productor.

Por otro lado, en Colombia, pese a los esfuerzos por mitigar los impactos de la ganadería y la deforestación, se ha visto cómo los manejos no adecuados de estas actividades alteraron el equilibrio de sus ecosistemas, generando muchas problemáticas, dentro de las algunas importantes, la erosión del suelo, la pérdida de fauna, flora, no obstante, también se habla de la perdida que trae consigo dentro de la comunidad de microorganismos presentes en los suelos. (Gómez, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, si se pierde la biodiversidad es una afectación directa a los seres vivos y los entornos físicos y biológicos. Como lo afirma García., (2016), “cada especie vegetal es un verdadero laboratorio viviente y la selva tropical una farmacia”. Estudios recientes han demostrado, además, que la conversión de bosques en pastizales como ocurre para expandir la ganadería extensiva provoca pérdidas en la diversidad bacteriana del suelo, lo que representa una amenaza directa a la fertilidad y a los servicios ecosistémicos que estos microorganismos aportan (Rosa et al., 2022). Basado en lo anterior la biodiversidad en Colombia ha disminuido,

va en decrecimiento, dado por las diferentes actividades de producción desde mediana a gran escala del ámbito Agropecuario, estas también pueden influir dentro del cambio climático y los recursos ecosistémicos. Por otro lado, Se sabe que la ganadería extensiva es rentable si se hace correctamente desde la buena gestión, incluso, es una realidad que la explotación agropecuaria tiene consigo unos efectos en la comunidad de los microrganismos presentes en los suelos, de igual modo se pueden ver afectadas las especies vegetales. (Garcia, 2016) El propósito de esta investigación es identificar los diversos géneros nativos de Hongos formadores de micorrizas que están presentes en los suelos de las fincas ganaderas, zonas de transición y zonas de bosques del Corredor Ecológico-Villavicencio. Con el fin de minimizar el impacto que trae consigo la aplicación masiva de fertilizantes de síntesis química en la mantención de cultivos y extensiones ganaderas, teniendo efectos negativos en el desarrollo y crecimiento de las producciones agropecuarias, asociado a esto, los fertilizantes de síntesis química son costosos y tienden al alza, así mismo la escasez por ser productos de importación. No obstante, desde los años 80 se viene incrementando diversas técnicas de conservación para fortalecer los procesos naturales de las áreas boscosas y los entornos de explotación, para minimizar la problemática

Conforme a ello, mediante esta investigación se estudios partiendo del conocimiento, de los beneficios que brindan los hongos formadores micorrizas arbusculares (HMA) a las praderas y zonas boscosas, buscando identificar: ¿Cuáles son los hongos formadores de micorrizas arbusculares nativos presentes en fincas ganaderas, zonas de transición y zonas de bosques del Corredor Ecológico de Villavicencio? Esto en pro de la importancia que tiene la explotación ganadera dentro del contexto social del perímetro a realizar el estudio, buscando ampliar el conocimiento sobre la salud del suelo, el crecimiento de las plantas y la sostenibilidad agropecuaria.

2.3 Formulación del problema

¿Cuáles son los hongos formadores de micorrizas arbusculares nativos presentes en fincas ganaderas, zonas de transición y zonas de bosques del Corredor Ecológico-Villavicencio?

3. Justificación

Es importante enfatizar que la identificación de los géneros de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) nativos en la zona de investigación, es de notable importancia, teniendo en cuentas que estos mediante la simbiosis apoyan las poblaciones vegetales existentes en la zona, adicional a esto, es de importancia resaltar que este proceso se da incluso en condiciones poco favorables, de tal manera puede apoyar a los productores y el medio ambiente minimizando la aplicación de fertilizantes al suelo. Por otra parte, conocer la importancia de conservar y aumentar las condiciones de los Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) apoyando como herramienta para llegar a la prevención de la perdida de especies locales y necesarias dentro del ámbito socioeconómico y ambiental del sector. A partir del análisis realizado, se sugiere que las zonas de transición y bosque son un escenario clave, mediante el cual, los pastizales y bosques existentes se benefician por medio de la colonización de Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) nativos. Contribuyendo a la mejora y el establecimiento de pasturas y forestaciones, sumado a ello, busca atenuar el impacto en ecosistemas degradados, sin embargo, cabe señalar que, el cambio climático juega un papel muy importante llevando alterar de forma negativa la relación entre los hongos y la absorción de nutrientes. En unidades de producción agrícolas, por medio de la investigación e identificación de cepas de hongos formadores de micorrizas arbusculares(HMA), teniendo en cuanta sus características morfológicas específicas, se puede implementar, como mecanismo en las producciones agropecuarias, buscando optimizar la eficiencia en la absorción de nutrientes de los cultivos de forrajes y pastos necesarios para la nutrición de la producción ganadera, donde simultáneamente busque un equilibrio de los ecosistemas. (Osorio et al., 2019).

Es cierto que las micorrizas son asociaciones mutualistas entre los hongos que habitan los suelos y las raíces de las plantas, entendiendo que los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), son los encargados de cubrir las demandas de la planta en cuanto a carbono, del mismo modo, optimizando la absorción de agua y minerales, tomando principalmente elementos de lenta asimilación como fósforo, zinc y cobre. Considerando que una de las principales características de los hongos formadores de micorrizas arbusculares es la facultad de extensión más allá de la zona de las raíces, por medio de una gran red de micelio, que permite explorar los suelos, capturando agua y nutrientes necesarios para la planta (Ochoa, 2020). Es de vital importancia la conservación y selección de los Hongos formadores de Micorrizas arbusculares, (HFMA) nativos de la región con el fin de obtener mayor establecimiento y multiplicación de estos. Vega, (2020) indica que el 95% de las especies vegetales establecen asociaciones simbióticas con los Hongos formadores de micorrizas (HFMA) sin embargo solo se han estudiado un 3% siendo aún muy escasa la información sobre la dependencia de la condición micorrizal. Estas son biotrofos obligados que siempre requieren de la presencia de una planta hospedera para la obtención de fotosintatos, de allí la importancia de conservación de los entornos boscosos y los intervenidos por el hombre en la explotación económica, ya que estos están en diferentes ambientes y son parte fundamental del desarrollo de la vegetación vega, (2020).

Se enfatiza que los HMA son recursos necesarios en el ejercicio de la producción agropecuaria como elemento para alcanzar el equilibrio mediante el servicio de absorción de suministro de elementos como el fósforo, nitrógeno orgánico, zinc, cobre, mayor absorción de agua y disminución de estrés en las plantas, a su vez las plantas juegan el papel importante dentro de las diversas composiciones químicas, humedad, temperatura y pH entre otros beneficios al suelo según

Ortiz et al. (2015). Es por ello, que la investigación de los Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) ha cobrado relevancia en los últimos años por la disminución en el uso de fertilizantes, mayor crecimiento y desarrollo en las plantas, la salud de los diversos ecosistemas, pese a lo anterior aún no se tiene una comprensión completa de estas relaciones por lo mismo de su complejidad, tales como las características y funcionalidades dentro de los ecosistemas que dificulta la clasificación y análisis, planteamiento de Gómez (2014). Así que para abordar estas problemáticas es necesario un enfoque multidisciplinario, con participación, de la ecología, microbiología y otras áreas relacionadas.

Comprender la diversidad la función de los Hongos formadores de micorrizas arbusculares influye en las practicas actuales de manejo de suelos en los sistemas de explotación ganadera, y bosques aledaños a la zona de investigación, permite manejar la calidad del sustrato o la producción de pastos. (Pérez & Peroza, 2013). Adicionalmente, con estos estudios sobre micorrizas se pretende, generar conocimiento sobre la propagación de especies nativas y promover una agricultura amigable con el medio ambiente a través de la expansión de insumos biológicos nativos o bioinoculantes, mejorando así el uso de la tierra y reduciendo los daños causados por los agroquímicos y manejos actuales de la explotación ganadera en la zona estudio.

En particular, se cuenta con gran cantidad de investigaciones sobre las micorrizas, características y beneficio. Sin embargo, este trabajo investigativo se enfoca desde un área sectorial para comprender las necesidades locales según las producciones de mayor explotación. Destacando las particularidades de los géneros que se puedan encontrar en dicho estudio. Lo que puede ser crucial para el mantenimiento de la biodiversidad vegetal y el equilibrio ecológico, esto gracias a que la asociación mutualista permite mayor absorción de nutrientes esenciales para

el crecimiento y desarrollo de la vegetación dentro de los ecosistemas forestales y ganaderos (Arteaga, 2020). Por otra parte, permite establecer la calidad físico-química del suelo en fincas ganaderas de la región de Villavicencio, del mismo modo, las micorrizas arbusculares también actúan como bio-controladores protegiendo a los hospederos, y minimizando problemáticas como los nematodos fitoparásitos.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Identificar los géneros de hongos formadores de micorrizas arbusculares nativos asociados a fincas ganaderas, zonas de transición y zonas de bosques en los suelos del corredor ecológico -Villavicencio.

4.2 Objetivos específicos

O[1]: Caracterizar la diversidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares entre zonas de transición y zonas de bosques en fincas ganaderas del corredor ecológico.

O[2]: Comparar la diversidad de géneros de hongos formadores de micorrizas arbusculares entre zonas de transición y zonas de bosques en fincas ganaderas del corredor ecológico.

O[3]: Determinación de la cantidad de los Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) en los puntos de muestreo y su relación con el pH.

5. Marco referencial

La palabra micorrizas proviene del término griego mykes (hongo) y el término latino rhiza (raíz), donde literalmente la palabra micorrizas quiere decir hongo-raíz. El patólogo alemán Albert Bernard la utilizó por primera vez en 1885 para definir las relaciones simbióticas o mutualistas establecidas entre ciertos hongos presentes en el suelo y las plantas, las micorrizas se pueden definir en general como relaciones mutuamente beneficiosas entre grupos específicos de hongos y las raíces de las plantas. En una asociación simbiótica, tanto los hongos como las plantas que los hospedan se benefician mutuamente. El hongo recibe compuestos carbonados producidos por la fotosíntesis, así como hábitat y diversidad de nichos ecológicos, mientras que la planta recibe agua y nutrientes, especialmente aquellos que tienen poca movilidad o son de baja disponibilidad en el suelo (como el fósforo y el nitrógeno). Además, brindan a las plantas beneficios, como un mejor ajuste osmótico a la sequía y una mayor tasa fotosintética (Soto et al., 2022). En esta interrelación que contribuye a mejorar las características físicas y químicas del suelo, se generan condiciones ambientales más propicias para las plantas, donde las temperaturas en el suelo, la presencia de agentes contaminantes, resistencia al trasplanté, además mejora la estructura del suelo y les da protección contra patógenos (Alvarado et al., 2004).

Así mismo la relación con otros microorganismos del suelo, destacando las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal o “PGPR” (del inglés plant growthpromoting rhizobacteria), contribuye a mayor eficiencia en absorción de nutrientes necesarios como se indica en (Mango.2019). Dando origen a un buen funcionamiento de los ecosistemas terrestres, los microorganismos del suelo son cruciales para la agricultura porque permiten tanto la recuperación de

suelos dañados como la sustitución parcial o total de los fertilizantes minerales. Además, son baratos de producir y son producidos a partir de recursos renovables, que benefician el crecimiento y desarrollo de las plantas de manera adecuada como se plantea en. (Aguilar-Ulloa et al.,2016). Las plantas establecen simbiosis micorrízica con todas las especies de Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) naturalmente, pero algunos hongos pueden ser más efectivos que otros debido a varios factores, cuando se tienen suelos nativos sin esterilizar o estériles, algunas especies introducidas suelen ser más efectivas que las especies nativas, como nos indica (Trejo et al., 2021)**.**

Por otro lado, las micorrizas es la simbiosis mutualista entre las plantas y los hongos donde ambos se benefician y mejoran su aptitud biológica, estas asociaciones simbióticas micorrícicas arbusculares se basa en la nutrición, el hongo recibe compuestos carbonados de la fotosíntesis de la planta, mientras que la planta recibe nutrientes minerales, especialmente aquellos menos accesibles debido a la mayor accesibilidad del micelio externo del hongo a los recursos del suelo más lejanos (Ruiz et al., 2015). En el ámbito de la zona de investigación, siendo tropical húmedo, desde el enfoque del Corredor Ecológico Villavicencio-Meta, las micorrizas arbusculares se convierten en valioso recurso microbiológico en estos sistemas naturales. No obstante, se han realizado investigaciones y estrategias de implementación para conservar y multiplicar los diversos géneros de micorrizas en diversos bosques y explotaciones comerciales. Sin embargó, Una evaluación numérica de la contribución del hongo a la captación de nutrientes en ecosistemas naturales presenta numerosos desafíos. Principalmente porque son sistemas en constante

evolución, Pero muy necesario en la producción de pasturas del género *Brachiaria decumbens*, es una gramínea perenne que se cultiva para la producción de forraje, que tiene alto porcentaje micorrización con los hongos formadores gracias a sus características naturales. (Benavides., 2011). Desde otra perspectiva, existen varias formas de clasificar los hongos que llevan a la formación de micorrizas arbusculares (MA). Estos incluyen criterios basados en la colonización de las raíces y determinadas características morfológicas de las esporas, como su desarrollo, germinación, estructura hifal, cantidad y naturaleza de sus componentes, presencia de características como su tamaño y color. Además, Aunque se reconoce y se ha discutido ampliamente la relevancia de la simbiosis entre plantas y hongos formadores de micorrizas. Aún existen lagunas en cuanto a comprensión de su función específica en los agroecosistemas tropicales (Chavez, 2020).

En Colombia, la mayor parte de los estudios han estado relacionadas con los beneficios de la simbiosis en diferentes hospederos, especialmente en aspectos de productividad, nutrición vegetal y sustitución de fertilizantes, lo cual ha permitido determinar el potencial de uso de estos microorganismos en sistemas de producción convencional o en sistemas de producción limpia (Rey et al, 2005), sin embargo, La diversidad de Hongos formadores de micorrizas arbusculares(HFMA),ha sido estudiada a diferentes niveles jerárquicos, pero aún se desconoce el papel de esta diversidad en el establecimiento de procesos simbióticos efectivos con diversas especies de vegetales, especialmente de pasturas. Con todo esto, es importante considerar que las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) son dinámicas en el tiempo, y pueden ser moduladas por características del suelo (físicas, químicas y biológicas) y por aspectos climáticos, que en el caso del trópico colombiano están asociados a la altitud**.** (Noda, 2009).

5.1 Clasificación de las micorrizas: morfología y fisiología:

Las micorrizas se pueden clasificar principalmente mediante ciertas características morfológicas del hongo, como la forma y el tipo de hifas, el nivel de penetración en la raíz o el tejido, así como los taxones involucrados. Se puede reconocer de manera consensuada, dos grandes tipos de micorrizas de acuerdo con la forma de penetración de las hifas en las células de la raíz: ectomicorrizas y endomicorrizas se describen también formas intermedias: las ectendomicorrizas (Saparra, 2020). En cuanto a las endomicorrizas, las hifas de estos hongos penetran en las células de las raíces. En los arbúsculos, el hongo y la raíz se intercambian elementos nutritivos por carbono (Ruiz, 2011). En las ectomicorrizas, el hongo crea una especie de manto con sus hifas (filamentos microscópicos, ramificados o no) alrededor de las raíces menos gruesas, pero no entran en sus células, se forman en los espacios intercelulares de la corteza de las raíces. Las cuales han sido clasificadas como asociación simbiótica básica que se desarrolla en bosques de climas templados a boreales, Incluso se extiende a regiones tropicales y subtropicales. Estos simbiontes son puentes importantes en una variedad de plantas, incluidas especies leñosas, hierbas y plantas perennes, la mayoría pertenece a grupos de plantas como las gimnospermas y algunas angiospermas, esta simbiosis es prácticamente universal, no solo porque casi todas las especies vegetales pueden ser micorrizadas, sino también porque es común en la mayoría de los entornos naturales Henao, (2021).

Estas interrelaciones cuentan con unas características específicas, tales como diversidad biológica adaptable, apoyo nutricional, resiliencia frente a estrés ambiental, ciclo de nutrientes y sostenibilidad de los ecosistemas, promoción de la biodiversidad. Las micorrizas existen desde

hace más de cien años y son tan antiguas como las plantas, Se estima que alrededor del 95% de las especies vegetales conocidas establecen de forma natural y constante este tipo de simbiosis

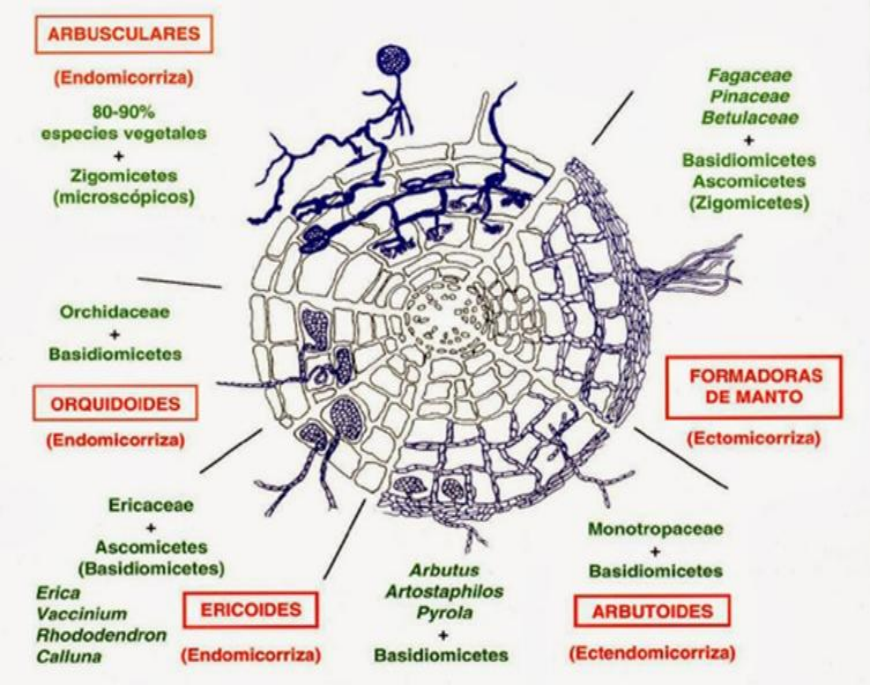
con hongos del suelo (Perez,2011). Aunque esto puede varían de acuerdo con las características físicas del suelo (Rojas, 2016; Sandoval et al., 2019). Cabe mencionar que, Colombia cuenta extensiones amplias en ganadería; algunos sistemas encaminados hacia la producción de carne y leche o doble propósito en sistemas silvopastoriles, rotacionales o a campo abierto que se evidencian más en la parte baja del país, no obstante, estos sistemas generan un desgaste en el suelo por el pisoteo diario, las heces y orina de los rumiantes, así mismo, afectan la actividad de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), los cuales son destacados por su función ecológica con una gran incidencia en la estabilidad de ecosistemas donde las condiciones son de extremos desgastes (Restrepo et al., 2019).

En respuesta a esta problemática en la zona de estudio, Forero (2021) sostiene que el uso de cobertura del suelo desempeña un papel crucial en el análisis, ya que puede ser detectado mediante diversas herramientas y proporciona al investigador una valiosa herramienta para la investigación cualitativa. Por lo tanto, la evaluación de la presencia de microorganismos permite evaluar cambios significativos. Según el mismo autor, "cuando se lleva a cabo una extracción desproporcionada de recursos naturales a escala industrial en una zona, en lugar de actividades agrícolas o de protección del suelo, puede generarse un desequilibrio en el ecosistema debido a estos efectos". Es decir, en el nivel de cada comunidad, los hongos arbusculares expresan una serie de características potenciales como la posibilidad de trasportar una gran cantidad de nutrientes que luego son dejados a disposición de la planta para proveer resistencia a distintos factores tanto

bióticos como abióticos que a su vez otorgan una mayor supervivencia en cambios climáticos y ataques contaminantes (Velázquez, 2010; Reyes et al., 2020).

Figura 1

Esquema de colonización dado por los hongos micorriza les: ectomicorrizas, endomicorrizas y ectendomicorrizas.



Nota: Tipos de asociaciones micorrízicas entre hongos y raíces de plantas. Se muestran endomicorrizas (arbusculares, orquidoides y ericoides) y ectomicorrizas (formadoras de manto y arbutoides), según las familias vegetales y los grupos de hongos asociados. Fuente: (Blogspot, 2012).

Tabla 1

Esquema comparativo tipo de micorrizas.

Tipos de micorrizas	Ectomicorrizas	Ectendomicorrizas		Endomicorrizas			
		Otras	Arbutoide	Monotropoide	Ericoide	Orquideoide	MA
Hifas	Septadas	Septadas	Septadas	Septadas	Septadas	Septadas	Sin septos
Penetración	intercelular	intracelular	intracelular	intracelular	intracelular	intracelular	intracelular
Manto Hifal	presente	presente/ausente	presente	presente	ausente	ausente	ausente
Simbionte fúngico	Basidio/Asco	Basidio/Asco	Basidio	Basidio	Asco	Basidio	Glomero
Simbionte Vegetal	Gymno Angio	Gymno Angio	Ericales	Monotropoideae	Ericales Bryo	Orchidales	Bryo Pterido Gymno Angio

Nota: Características comparativas de los principales tipos de micorrizas, según morfología de hifas, modo de penetración, presencia o ausencia de manto hifal, y tipos de simbiontes fúngicos y vegetales. Fuente: (Frontiers in Plant Science, 2024)

6. Aspectos metodológicos de la Investigación

6.1 Tipo de estudio

Este proyecto será de tipo mixto, desde el ámbito cualitativo y cuantitativo, El objetivo del estudios cualitativos y cuantitativos sobre las micorrizas arbusculares es lograr un conocimiento profundo y completo de estos simbióticos, de gran importancia en los ecosistemas, esperando lograr una comprensión profunda y completa de estos simbióticos. Tipo de muestreo: voluntario, azar

6.2 Enfoque

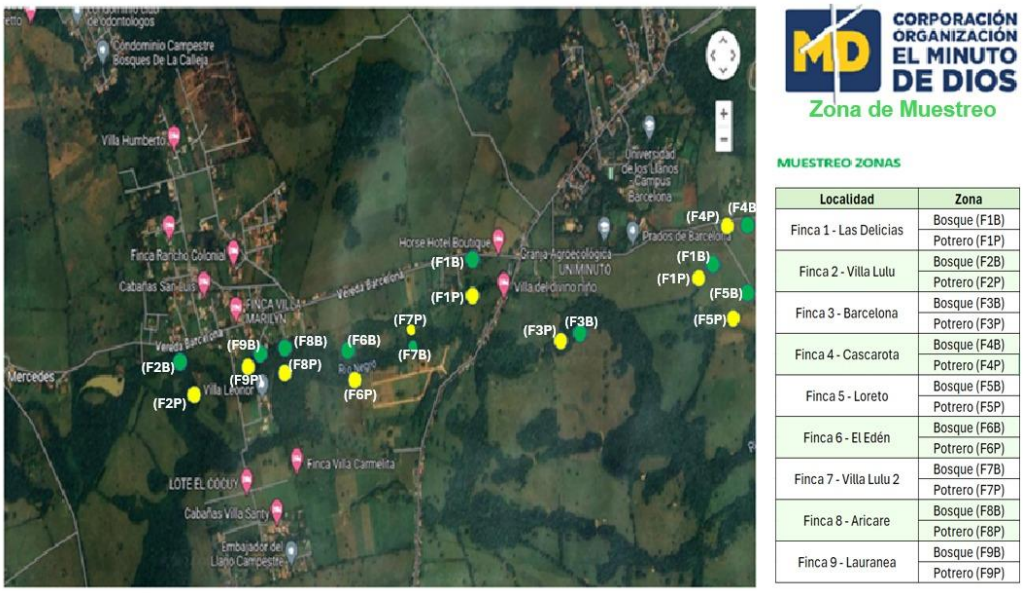
Este proyecto investigativo está centrado en la identificación de los géneros de hongos arbusculares formadores de micorrizas, ya que desempeñan un papel crucial en el mundo natural, por tanto, se pretendió caracterizar y observar las posibles aplicaciones en la producción pecuaria y la remediación ambiental, así mismo, factores que influyen en la distribución y abundancia de estos en la zona de investigación

6.3 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en Fincas ganaderas, ubicadas en la vereda Barcelona, específicamente en una zona de importancia ecológica conocida como “El Corredor Ecológico” en el municipio de Villavicencio. Estas fincas presentan una temperatura promedio de 20 a 33°C, con una humedad relativa aproximadamente de 65% al 90%.

Figura 2

Ubicación de los puntos de muestreo



Localidad	Zona
Finca 1 - Las Delicias	Bosque (F1B)
	Potrero (F1P)
Finca 2 - Villa Lulu	Bosque (F2B)
	Potrero (F2P)
Finca 3 - Barcelona	Bosque (F3B)
	Potrero (F3P)
Finca 4 - Cascarota	Bosque (F4B)
	Potrero (F4P)
Finca 5 - Loreto	Bosque (F5B)
	Potrero (F5P)
Finca 6 - El Edén	Bosque (F6B)
	Potrero (F6P)
Finca 7 - Villa Lulu 2	Bosque (F7B)
	Potrero (F7P)
Finca 8 - Aricare	Bosque (F8B)
	Potrero (F8P)
Finca 9 - Lauranea	Bosque (F9B)
	Potrero (F9P)

Nota: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en la vereda Barcelona- Corredor ecológico, Villavicencio (Meta). Los círculos verdes representan muestras en zonas de bosque (MB) y los círculos amarillos corresponden a muestras en zonas de transición ganadera (MZG).

6.3.1 Selección fincas

Se seleccionaron nueve (9) fincas aledañas al casco urbano (**Figura 2**), en las cuales se presentaban zonas de transición y zonas de bosque dentro del mismo predio y hacían uso del suelo para la cría de ganado. La selección de los sitios de muestreo obedeció a la representatividad en términos de uso de suelo (para el caso de la ganadería), facilidad de acceso y disponibilidad de los propietarios para permitir la toma de las muestras. Así mismo, que estuvieran en diferentes puntos geográficos a lo largo del corredor ecológico, como zona de alto valor biológico para el municipio en el que se lleva a cabo el estudio (**Tabla 2**)

Tabla 2

Georreferenciación y codificación de las fincas seleccionadas para el estudio.

Localidad/ Zona	**Localidad/ Zona**	**Coordenadas**	**Altura-msnm**
Finca 1- Las Delicias	**Bosque (F1B)**	4°03'59"N 73°34'47"W	384
	Potrero(F1P)	4°03'53"N 73°34'49"W	381
Finca 2 - Villa Lulu	**Bosque (F2B)**	4°03'59"N 73°36'04"W	400
	Potrero(F2P)	4°03'59"N 73°36'11"W	399
Finca 3 - Barcelona	**Bosque (F3B)**	4°04'07"N 73°35'14"W	390
	Potrero(F3P)	4°04'10"N 73°35'10"W	390
Finca 4 - Cascarota	**Bosque (F4B)**	4°04'03"N 73°34'39"W	378
	Potrero(F4P)	4°03'52"N 73°34'55"W	379
Finca 5 - Loreto	**Bosque (F5B)**	4°04'14"N 73°34'53"W	385
	Potrero(F5P)	4°04'21"N 73°34'28"W	380
Finca 6 - El edén	**Bosque (F6B)**	4°04'22"N 73°34'27"W	390
	Potrero(F6P)	4°04'20"N 73°35'24"W	390
Finca 7 - Villa Lulu 2	**Bosque (F7B)**	4°03'54"N 73°36'52"W	410
	Potrero(F7P)	4°03'56"N 73°36'52"W	411
Finca 8 - Aricare	**Bosque (F8B)**	4°03'47"N 73°36'47"W	408
	Potrero(F8P)	4°03'42"N 73°36'52"W	404
Finca 9 – Lauranea	**Bosque (F9B)**	4°03'54"N 73°36'52"W	410
	Potrero(F9P)	4°03'56"N 73°36'52"W	411

6.3.1 Toma de muestras en campo.

En cada una de las fincas seleccionadas, se realizó un esquema de la finca con cuadriculas, y en estas se seleccionaron al azar (muestreo totalmente aleatorio) 5 submuestras en cada zona (Bosque y Pastizal de ganado). Estas se reunieron para formar una muestra compuesta de cada sitio, de donde se tomó una muestra de 2 kg de suelo rizosférico, de acuerdo con lo descrito por Patiño & Prager (2014), con modificaciones, las cuales fueron empacadas en bolsas plásticas, debidamente rotuladas con la georreferenciación y tipo de zona de la finca (**Figura 3**). Estas fueron guardadas en una cava de icopor y luego trasladadas al laboratorio de ciencias de la corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO- Villavicencio. Las muestras de cada una de las áreas del muestreo se subdividieron en 2 sub-muestras para lograr llevar a cabo los objetivos propuestos. De estas, 1 kilogramo de suelo se usó para realizar el proceso de extracción de las esposas de los hongos formadores de micorrizas arbusculares y 1 kilogramo para llevar a cabo el análisis fisicoquímico de cada punto del muestreo.

Figura 3

Zonas seleccionadas para la toma de muestras.



Nota: Toma muestras del suelo litosférico. Finca 1- Las Delicias: A) potrero, B) bosque., Finca 2 - Villa Lulu: C) potrero, D) bosque., Finca 3 - Barcelona: E) potrero, F) bosque., Finca 4 - Cascarota: G) potrero, H) bosque., Finca 5 - Loreto: I) potrero, J) bosque., Finca 6 - El edén: K) potrero, L) bosque., Finca 7 - Villa Lulu 2: M) potrero, N) bosque., Finca 8 - Aricare: O) potrero, P) bosque., Finca 9 - Lauranea: Q) potrero.

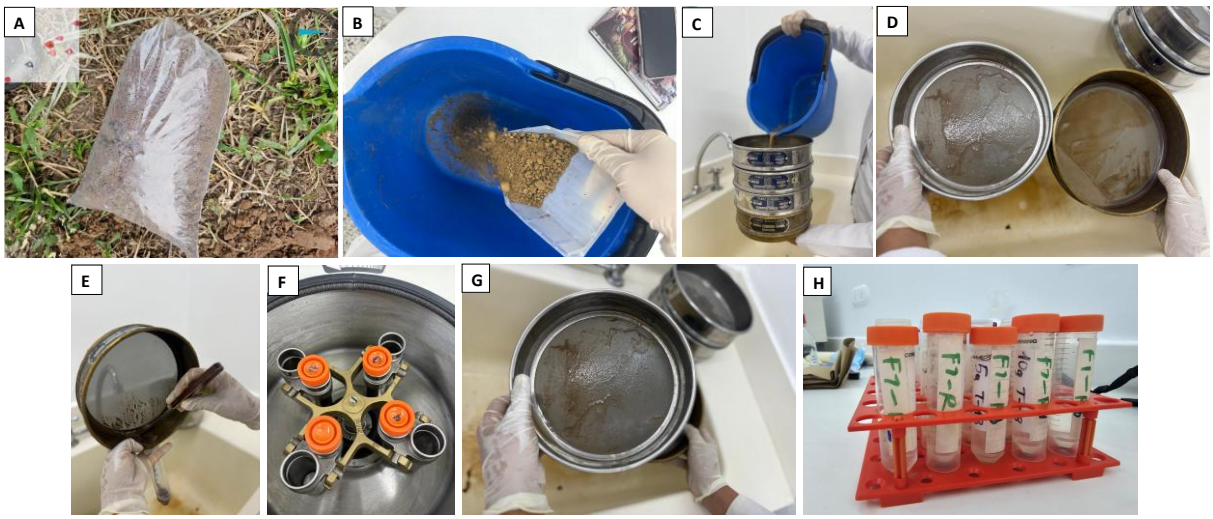
6.3.1 Procedimiento de extracción de hongos formadores de micorrizas arbusculares

Se procedió a realizar el proceso de extracción de esporas mediante el método de tamizado en húmedo y decantación, descrito por Sieverding (1993), con modificaciones de Sánchez de Prager et al. (2010) y Boyno et al., 2023, en el cual se definen los parámetros para realizar el siguiente proceso: Se pesaron 100 g de suelo, los cuales fueron depositados en un balde con 2 litros de agua para homogenizar la muestra. Posteriormente, se pasó la solución de suelo por tamices de 600, 400, 105 y 38 µm, aplicando una cantidad abundante de agua con el fin de eliminar

las impurezas, de tal manera que facilitó la separación de las esporas. Se recolectó el suelo que quedó en el tamiz de 105 µm y el de 38 µm. Luego, se depositó el material obtenido a un tubo Falcon de 50 ml, con la ayuda de una espátula de punta fina, un frasco lavador con agua, luego se adicionó solución azucarada al 70% hasta completar 40 o 45 ml del tubo y se agitó el material y la solución. Se llevaron los tubos a la centrífuga, para realizar la separación de las esporas del suelo mediante el centrifugado a 3250 rpm, por 5 min. Posteriormente, se procedió a rescatar el sobrenadante con las muestras y se realizó un proceso de lavado con agua destilada, para sacar el exceso de azúcar. Por último, se guardó las esporas en agua destilada en tubos falcon de 50 ml, listas para realizar el proceso de identificación. Este proceso se realizó con 5 repeticiones por cada muestra de suelo. (**Figura 4**).

Figura 4

Extracción de esporas mediante el método de tamizado en húmedo y decantación



Nota: Proceso de preparación y procesamiento de muestras de suelo para la extracción de esporas de hongos micorrízicos arbusculares. A) Muestra de suelo recolectada., B) Preparación

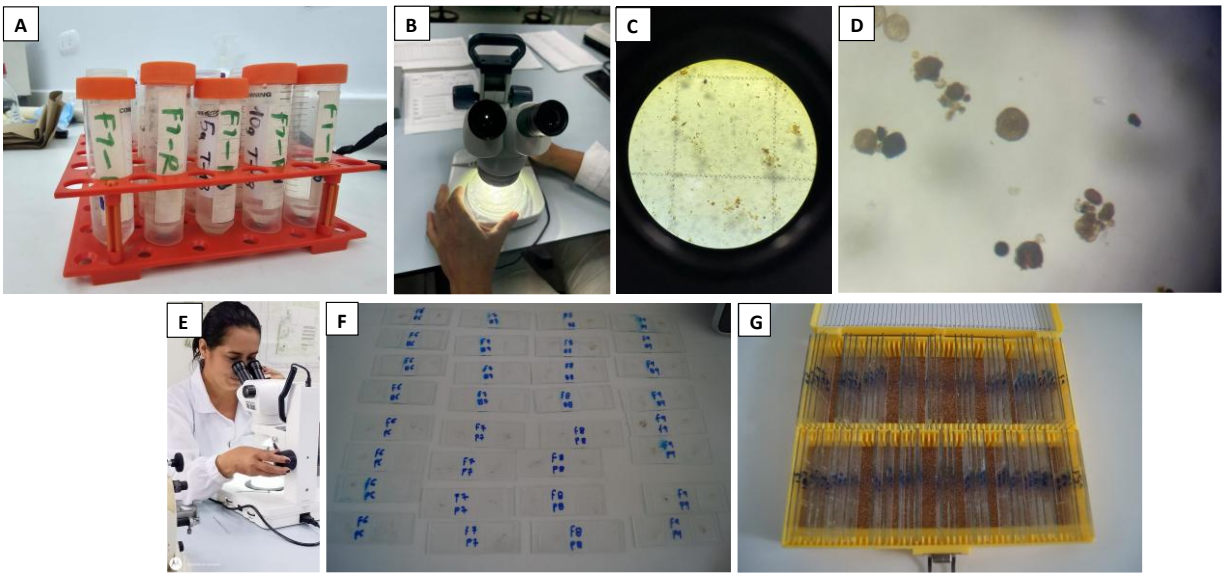
de solución de agua con 100 gr de suelo y 2 litros de agua., C) Proceso de tamizado., D y E) Colecta de material de los últimos tamices y pasado a tubo falcon de 50mL., F) Centrifugación de las muestras., G) Lavado para retirar el exceso de azúcar., H) Muestras listas para el proceso de conteo e identificación.

6.3.1 Clasificación y determinación de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA)

El conteo de esporas se llevó a cabo después de centrifugar la muestra. Se rescató la fracción que contenía las esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares, las cuales quedaron suspendidas, previo a un proceso de lavado y retiro del exceso de solución azucarada. Estas se depositaron en cajas Petri y se llevaron al estereoscopio para su observación y conteo. Posteriormente, las esporas se separaron de acuerdo con morfotipos y se fijaron en placas portaobjetos para su identificación. Se realizaron montajes semipermanentes de las diferentes morfoespecies encontradas, utilizando alcohol polivinílico lactoglicerol (PVLG), con y sin reactivo de Melzer (Schenck & Pérez, 1990). Con ayuda del microscopio se efectuó la observación y la respectiva identificación de las esporas micorrízicas (**Figura 5**).

Figura 5

Clasificación e identificación de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares.



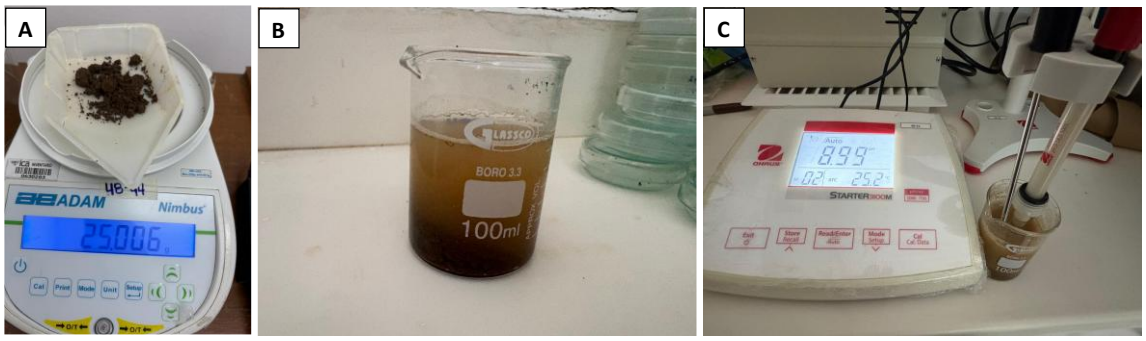
Nota: Proceso de selección, clasificación, montaje e identificación de esporas de hongos micorrízicos arbusculares. A) Esporas en tubo falcon de 50 ml listas para selección, B) Montaje en caja Petri para visualizar las esporas al estereoscopio., C y D) Detalle de las esporas en las cuadriculas utilizadas para el conteo en el estereoscopio., E) Proceso de selección de morfoespecies de esporas para montajes de placas para identificación., F) Elaboración de montajes de micorrizas en PVGL (Poli Vinil Glicerol), para identificación al microscopio., G)Colección de referencia- placas de identificación ordenadas por finca para identificación- Material de referencia para futuros estudios. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Una vez generadas las placas, la identificación de los géneros de hongos micorrícicos arbusculares se basa en las características morfológicas de los siguientes caracteres de las esporas: el tamaño, el color, conexión hifal, el modo de formación de la espora, formación de o ausencia de sáculos esporíferos, pared y capas, grosor de las hifas, presencia o ausencia de escudos, vesículas, células axilares y forma de la colonización que presentan, entre otros.

Estas características fueron contrastadas con las claves taxonómicas descritas por Sánchez de Prager et al. (2010); Oehl *et al*., (2011); Redecker *et al*., (2013). Dicho procedimiento se realizó 3 veces a cada muestra de suelo del estudio (F**igura 6**).

Figura 6

Proceso de medición de pH



Nota: Proceso de medición de pH en las muestras de suelo. A) Pesaje de suelo para la medición, B) preparación de solución de suelo y agua para mezcla en el agitador., C) Medición de pH en equipo multiparámetro.

Para el resto de parámetros fisicoquímicos, se tomó una muestra de 1 kg de suelo y se envió al laboratorio FUNDASES de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, en la que se evaluaron los siguientes parámetros: Acidez Intercambiable, Aluminio Intercambiable, Azufre disponible, Boro disponible, Calcio intercambiable, Carbono Orgánico Total , CICE, Cobre Disponible, Conductividad Eléctrica, Densidad Aparente, Fosforo Disponible, Hierro Disponible, Humedad, Magnesio Intercambiable, Manganeso Disponible, Materia Orgánica, Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Nítrico, Nitrógeno Total, pH, Potasio Intercambiable, Sodio Intercambiable y textura del suelo.

6.4 Diseño experimental y análisis estadístico

El cálculo de la variable de número de esporas de HMA en cada sitio de muestreo se determinó a partir del conteo de esporas presentes en 100 g de suelo. De cada sitio de muestreo. Lo anterior se calculó mediante la ecuación propuesta por Sieverding (1983):

$$N^{\circ}\,de\,esporas = \left(\frac{N^{\circ}\,de\,esporas\,contadas}{Peso\,de\,la\,muestra}\right) \times \left(\frac{Pi}{Pf}\right)$$

Donde Pi correspondió al peso inicial de la muestra usada para determinar la humedad y Pf al peso final de la misma muestra. Se estableció un diseño y muestreo de suelo completamente al azar en 9 fincas, para las cuales se seleccionaron dos zonas o tipos de uso de suelo (Bosque y zona de transición-potrero o pastizal) de acuerdo con el protocolo estandarizado por Patiño & Prager (2014). A cada muestra se realizaron 5 eventos de extracción de esporas (5 repeticiones por muestra, con las que se generó el promedio reportado en la tabla 6). Se tomaron en total 90 datos de N° de muestras (((5 datos bosque+5datos pastizal)x 9 fincas)=90). Se realizaron análisis de medias, mediante el análisis estadístico de Anova de una vía**,** para comparar si existen diferencias significativas entre el número de esporas entre las fincas ganaderas/potreros con respecto a las zonas de bosque. Posteriormente, se realizó una prueba post- hoc, en la que se escogió al estadístico Mann–Whitney para determinar entre cuales grupos se presentaban las diferencias significativas (Ver anexo 2, Tabla 4). La selección de las pruebas se realizó siguiendo lo descrito por Flores *et al*., (2017), en las que se constató que el tamaño de muestra, si los datos presentaban una distribución normal y se realizaba una comparación de grupos independientes o dependientes. Para el análisis del efecto del pH sobre la abundancia de las esporas de los hongos formadores de micorrizas arbusculares, se tomaron los 54 datos resultantes de las 3 repeticiones de

cada una de las zonas de las 9 fincas del estudio, y se correlacionaron con los datos de numero de esporas obtenidos en cada sitio de muestreo, mediante el cálculo regresión lineal.

Para visualizar o determinar la diversidad presente en el estudio se realizó el cálculo de índices de diversidad de Shanon-weaver, Indice de dominancia de Simpson, entre otros (**Anexo 1, figura19 y figura 20**). La Pruebas estadísticas, correlaciones e índices de diversidad se calcularon con la ayuda del programa estadístico PAST 4.0.

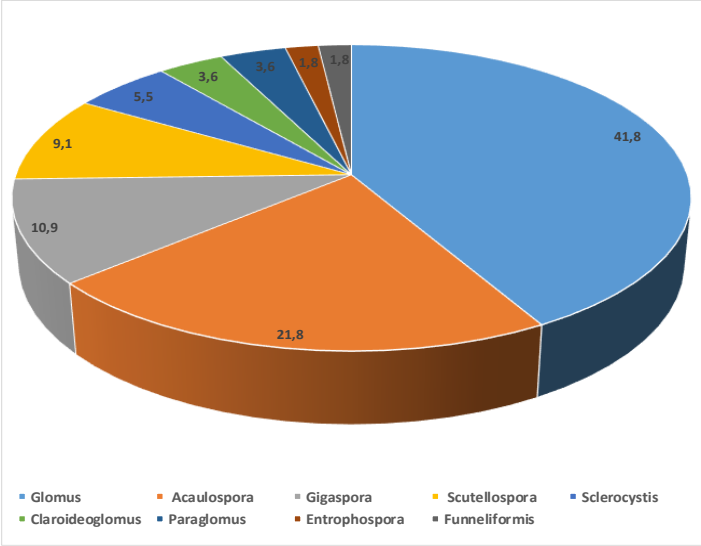
7. Resultados y discusión

Caracterizar la diversidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares en las fincas ganaderas del corredor ecológico.

Luego de realizar la extracción y posterior identificación de 232.125 esporas, se encontró un total de 55 morfoespecies de esporas de HMA en las 18 muestras de suelo (9 bosque y 9 pastizal) tomadas en las nueve fincas evaluadas (**Tabla 3**). Estas morfoespecies se encontraban clasificadas taxonómicamente en cuatro órdenes (Diversisporales, Entrophosporales, Glomerales, Paraglomerales). De igual forma se encontró que el género *Glomus* presentó el mayor número de morfos (23), seguido de *Acaulospora* (12), *Gigaspora* (6), *Scutellospora* (5), *Sclerocystis* (3), *Claroideoglomus* (2), *Paraglomus* (2), *Entrophospora* y *Funneliformis* con solo una (1) morfoespecie (**Figura 7 a figura 16**).

Figura 7

Representatividad de los géneros de hongos formadores de micorrizas arbusculares más representativos encontrados en el estudio



Nota: Fuente: Elaboración propia, 2025.

Lo anterior, concuerda con los reportado por Parra, Ortiz, & Huertas, (2021) en pasturas de *Brachiaria decumbens*, donde se encontró que el género *Glomus* es de gran abundancia y responde positivamente, a manejos de suelos con cal mejorando las propiedades químicas de estos. Así mismo, este comportamiento se ha reportado en diferentes paisajes ganaderos y agroecosistemas tropicales, en donde *Glomus y Acaulospora* dominan fuertemente la comunidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares debido a su capacidad de adaptabilidad a la diversidad ecológica Wilches et al., (2019) del mismo modo su alto nivel de resiliencia para establecerse en entornos donde los suelos tienen diferentes grados de perturbación (Mosquera-Mosquera et al., 2023; Roveda-Hoyos et al., 2022). Consecuente con lo anterior**,** en estudios realizados en Colombia, se ha demostrado que los hongos micorrízicos arbusculares mejoran significativamente el rendimiento y la calidad de pastos como *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria brizantha* en el trópico bajo. Por ejemplo, Mazo Lopera (2023) encontró que la inoculación con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) incrementa la absorción de fósforo y otros nutrientes, promoviendo un crecimiento más vigoroso en estas especies de pasto, llevando a reducir la necesidad de fertilizantes químicos. Esto refuerza la hipótesis de que géneros como *Glomus* pueden tener un papel relevante en pasturas bien manejadas, de ahí que su alta frecuencia de observación y abundancia en las fincas evaluadas sea coherente y acorde a lo reportado con otros autores.

Por otro lado, la menor proporción de géneros como *Gigaspora, Scutellospora y paraglomus s*ugiere que son más sensibles en cuanto a las modificaciones de las propiedades del suelo. (tales como., pH, compactación, disponibilidad de nutrientes), Esto es consistente con datos de

los neotrópicos donde se observa que géneros como *Scutellospora* y *Paraglomus* tienen menor representación en áreas perturbadas (Bueno et al., 2022), a su vez asociados a cambios ocasionados por las diversas prácticas de manejo en pastizales inducidas por el pastoreo (Lara-Calderón et al., 2024: soto et al; 2022), como en el caso de las fincas ganaderas evaluadas.

Por otro lado, el género *P-occultum,* aunque no está en gran escala como el *Glomus y Acaulospora* presenta un genoma reducido y con baja repetición, lo que sugiere adaptaciones evolutivas tempranas, siendo una estrategia eficiente (Malar et al.,2022). Así mismo investigaciones en suelos tropicales reflejan que la coinoculación con *p-ocultum logra* mejorar la calidad de metabólicos secundarios, absorción de fosforo (Yuan et al.,2025).

Del mismo modo se identificaron esporas del género *Gigaspora*, en las areas evaluadas, aunque menor proporción que *Glomus y Acaulospora*, este hallazgo es relevante debido a que en estudios muestra que contribuye a la fisiología y crecimiento de cultivos bajo condiciones de estrés mejorando el balance de sodio y potasio (Arruda et al., 2025). Esto sugiere que podrían ser muy útiles en la zona de investigación, contribuyendo en la resiliencia de los sistemas productivos.

Estudios como el de (Mosquera-Mosquera et al.,2023) donde reporta que el género Scutellospora se reportó como parte de la comunidad durante la sucesión natural en areas impactadas por la minería coincide con lo encontrado en el area de estudio de este proyecto, esta coincidencia sugiere que, aunque en menor cantidad es necesaria en la estabilidad y recuperación de ecosistemas naturales, aun en condiciones adversas.

Tabla 3

Morfoespecies encontradas en cada una de las zonas de las 9 fincas del estudio.

Clasi-fica-ción/identifi-cación				Finca 1- Las Delicias-Pasti-	Finca 1- Las Delicias- Bos-	Finca 2 - Villa Lulu- Pastizal	Finca 2 - Villa Lulu- Bosque	Finca 3 - Barcelona-Pastizal	Finca 3 - Barcelona- Bosque	Finca 4 - Cascarota- Pastizal	Finca 4 - Cascarota- Bosque	Finca 5 - Loreto- Pastizal	Finca 5 - Loreto- bosque	Finca 6 - El Edén- Pastizal	Finca 6 - El Edén- Bosque	Finca 7 - Villa Lulu 2-Pasti-	Finca 7 - Villa Lulu 2- Bos-	Finca 8 - Aricare- Pastizal	Finca 8 - Aricare- Bosque	Finca 9 - Lauranea- Pastizal	Finca 9 - Lauranea- Bosque
Diversisporales	Acaulosporaceae	*cf*	Fi	20				94				86		59	87	53				46	
		Ac	Fi	26	29			56	934				002								
		Ac	Fi	0		11	93														
		Ac	Fi	25	17	63	46	904	504	277	541	523	43	508	680	42	03		542	98	001

Ac	Fi	0														13			
Ac	Fi	0					04		71										
Ac	Fi	0													203		51		
Ac	Fi	19	83								01	07	11		56		03		
Ac	Fi	0							843										
Ac	Fi	0							466										
Ac	Fi	24	00	18	86		15		63	65						34	73		
Ac	Fi	0			151		60	38	236		46								

Gigasporaceae	*Gi*	Fi	0				76													
	Gi	Fi	0		37		00													
	Gi	Fi	18	645	11	40		83	932	316	687	801	62	357	13	03	98	306	320	24
	Gi	Fi	0	057		29	56		28	74		97	03	02		36	01	43	93	
	Gi	F	22	20			98													
	Gi	F	0															98		
	Sc	F	68	92		322	38													
	Sc		0				63			64										

		Sc	Fi	22		78			22				03							
		Sc	Fi	0		96									85					
		Sc	Fi	0										45						
En	**En**	*En*	Fi		11															
Glomerales	**Claroideo-**	*Cl*	Fi	38	99	56	64		01		31	00	87	94	23	27	96	437	52	06	63
	Glomeraceae	*Cl*	Fi	58	234	18	91		98	46		72	52	01	03		85	04	78		72
		Fu	Fi	67	41	659	057			01	17	151	84	28	95	884	97	36	99	87	82
		cf	Fi					14				81	00		09		10	98		56	

Gl	F	00	23	99	159		01	98	15	38	37		03	01			002		71
Gl	F		06					01	81		99	73		62					
Gl	Fi	54	440	49	851		48			02	351	62	45			553			99
Gl	F			74	87	38						98					13		
Gl	Fi				23	87	00	06	25	86	406	02	49	71	89		700	450	445
Gl	F																00		11
Gl	F	292	536	134	379		89	00				91	21	04	04	87	024		91
Gl	F	146	549	89	63		26		64	36	64								

Gl	F															155			
Gl	F		20			10	00		94		47	01	73	23	21	46		88	01
Gl	F		250		15														
Gl	F									08	43		36	97	78	13	112	01	79
Gl	Fi	93		33	214														
Gl	F			48		45	73	81	49		00			63				12	52
Gl	F						06	95											
Gl	F		62																

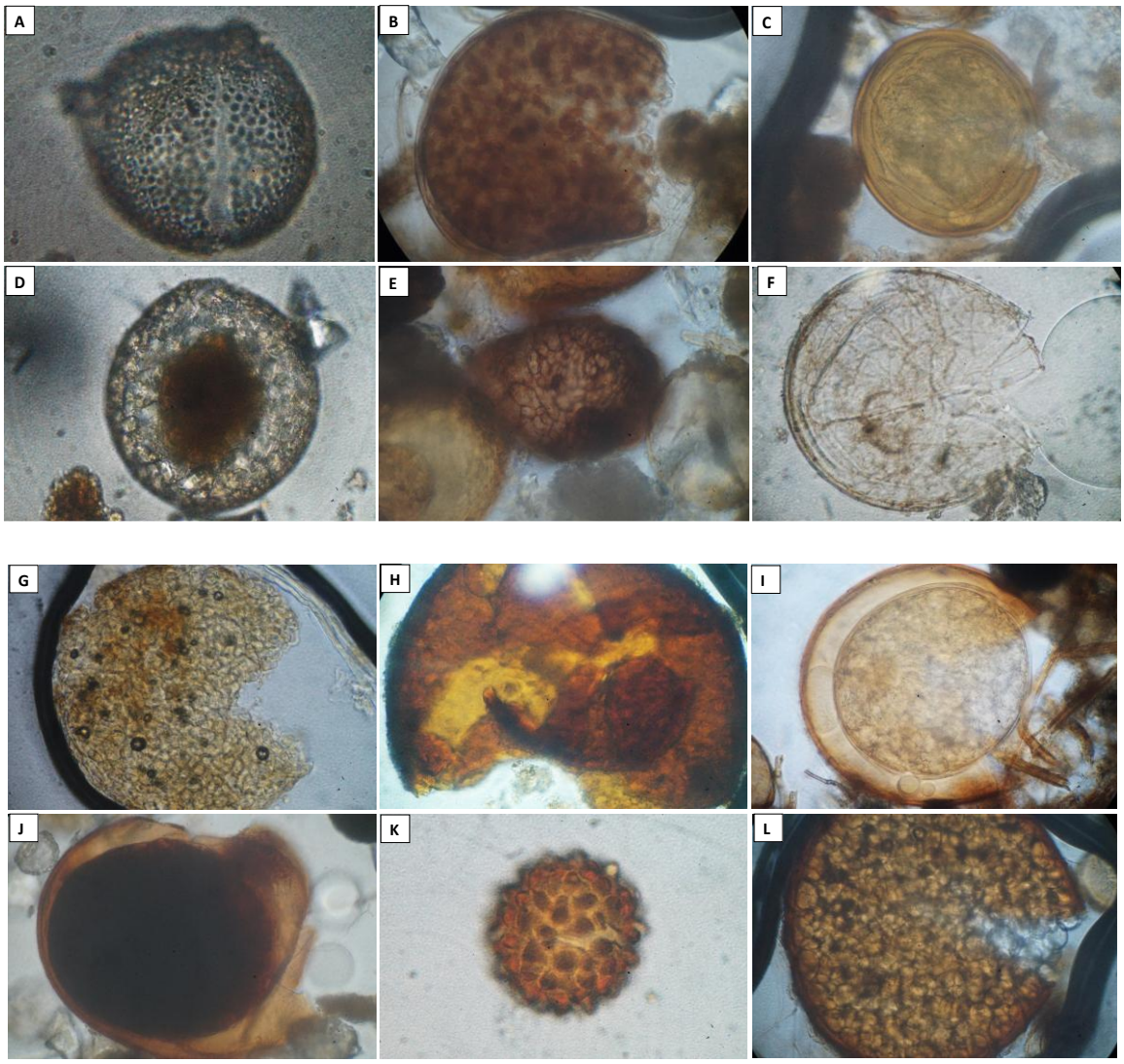
Gl	F										69	15	200		00	61	043		300
Gl	F												0						45
Gl	F																		3
Gl	F										16								
Gl	F								2										
Gl	Fi		5				3												4
Sc	Fi																		87
Sc	F			37	72		07						00	42	54		01	89	11

Paraglome-	**Paraglome-**	*Sc*	F		11	06		33	42	36	09	98	201		41					
		Pa	Fi	38	83															
		Pa	F	50	028		99		54	03	54		59		63	95	406		48	52	36

Nota: Clasificación taxonómica e información de la figura que representa la espora de la morfoespecie. Frecuencia de observación de cada morfo especies en las zonas de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 8

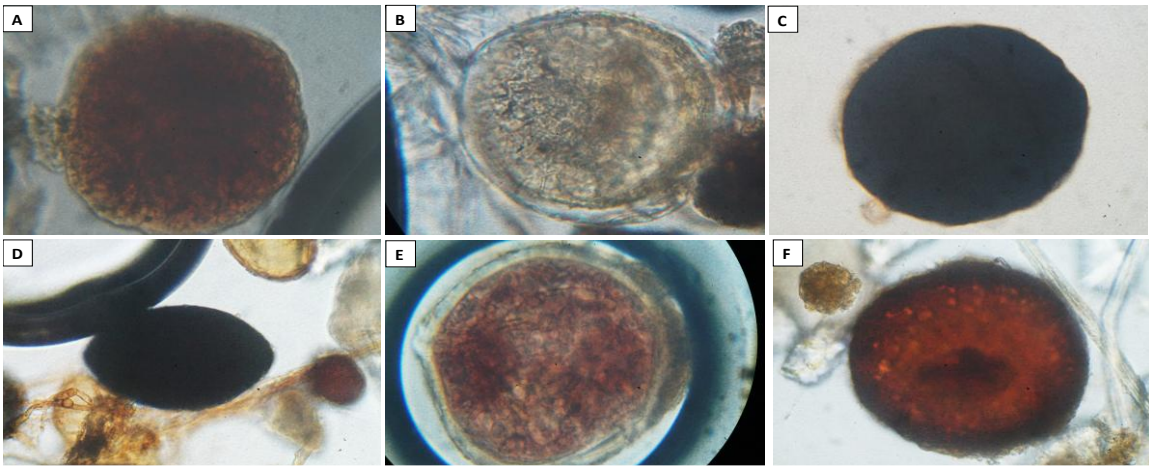
Esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares del género Acaulospora encontradas las zonas de estudio



Nota: A) *cf Acaulospora scrobiculata*, B) *Acaulospora excavata*, C) *Acaulospora* sp. 1, D) *Acaulospora* sp. 2, E) *Acaulospora* sp. 3, F) *Acaulospora* sp. 4, G) *Acaulospora* sp. 5, H) *Acaulospora* sp. 6, I) *Acaulospora* sp. 7, J) *Acaulospora* sp. 8, K) *Acaulospora* sp. 9, L) *Acaulospora* sp. 10. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 9

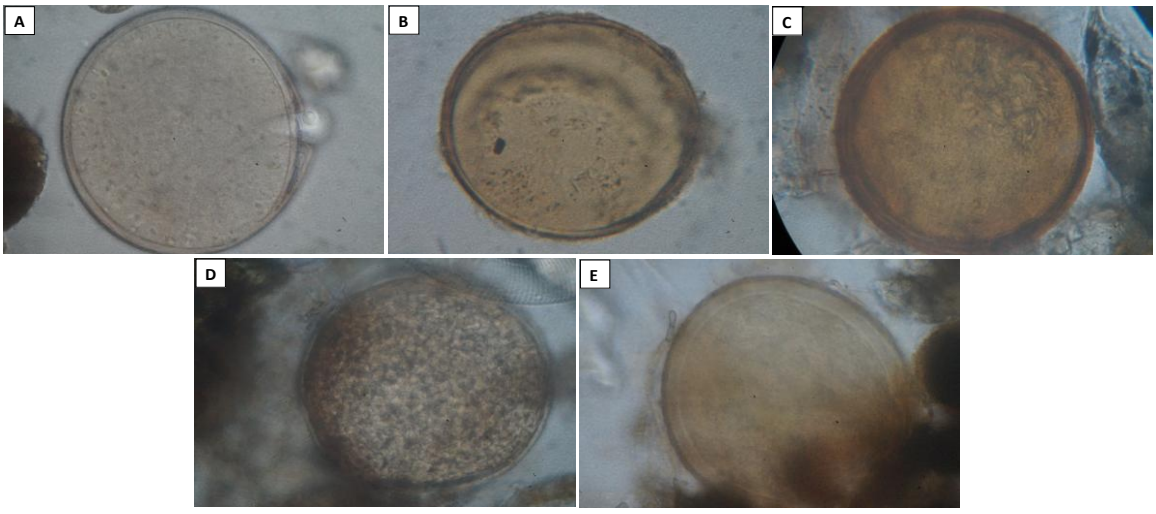
Esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares del género Gigaspora encontradas las zonas de estudio



Nota: A) *Gigaspora* sp. 1, B) *Gigaspora* sp. 2, C) *Gigaspora* sp. 3, D) *Gigaspora* sp. 4, E) *Gigaspora* sp. 5, F) *Gigaspora* sp. 6. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 10

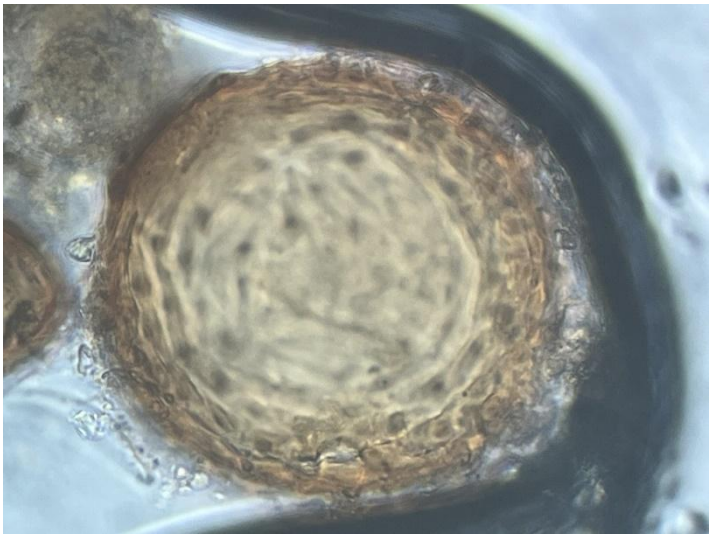
Esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares del género Scutellospora encontradas las zonas de estudio.



Nota: A) *Scutellospora* sp. 1, B) *Scutellospora* sp. 2, C) *Scutellospora* sp. 3, D) *Scutellospora* sp. 4, E) *Scutellospora* sp. 5. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 11

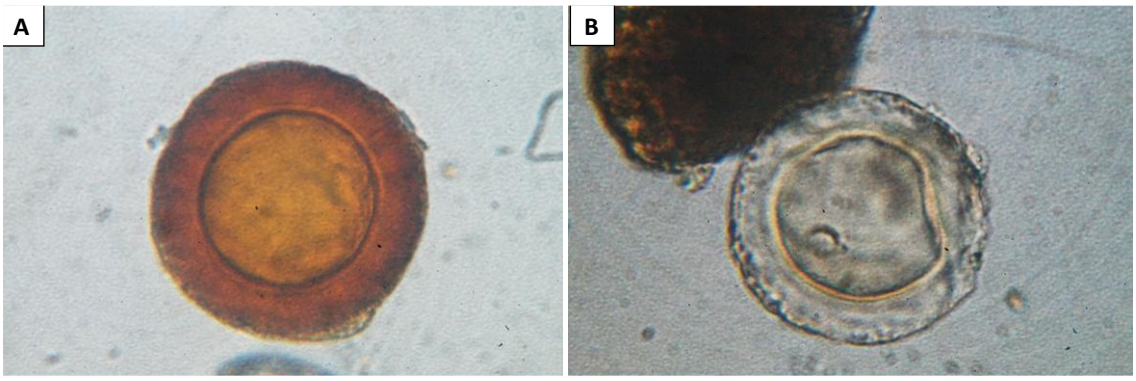
Espora de hongo formador de micorriza arbuscular del género Entrophospora encontrada el estudio.



Nota: Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 12

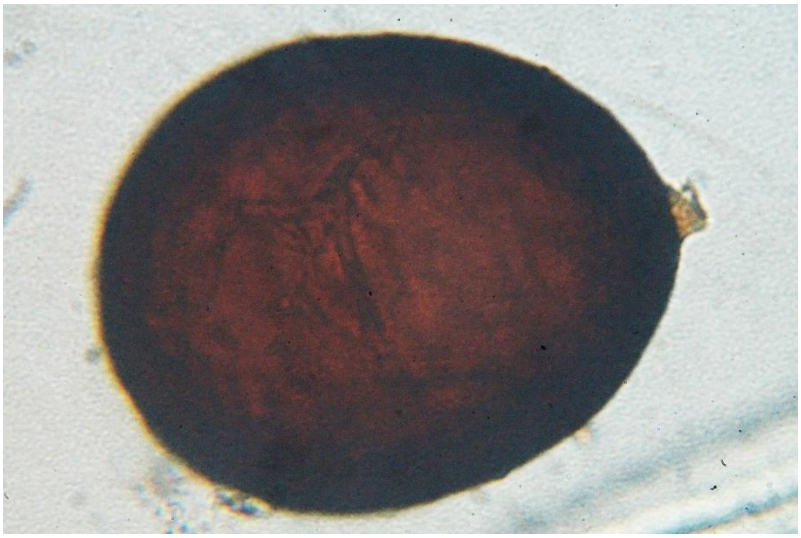
Esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares del género Claroideoglomus encontradas las zonas de estudio.



Nota: A) *Claroideoglomus* sp. 1, B) *Claroideoglomus* sp. 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 13

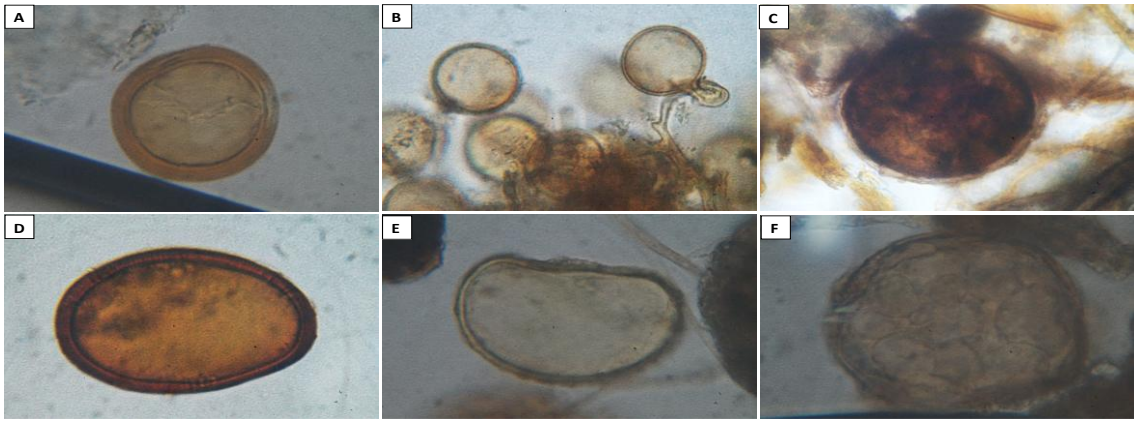
Espora de hongo formador de micorriza arbuscular del género Funneliformis encontrada el estudio.

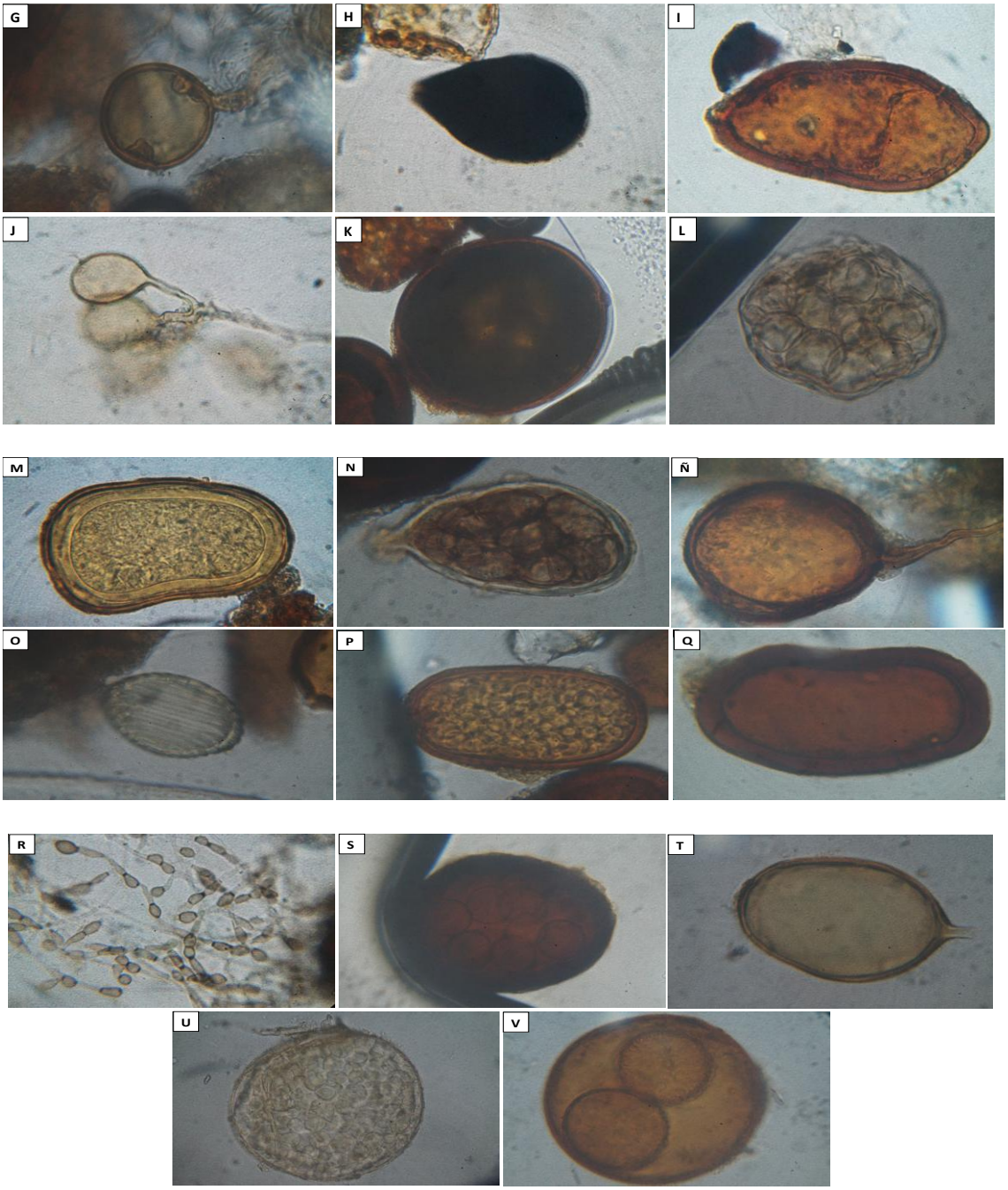


Nota: Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 14

Esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares del género Glomus encontradas las zonas de estudio.



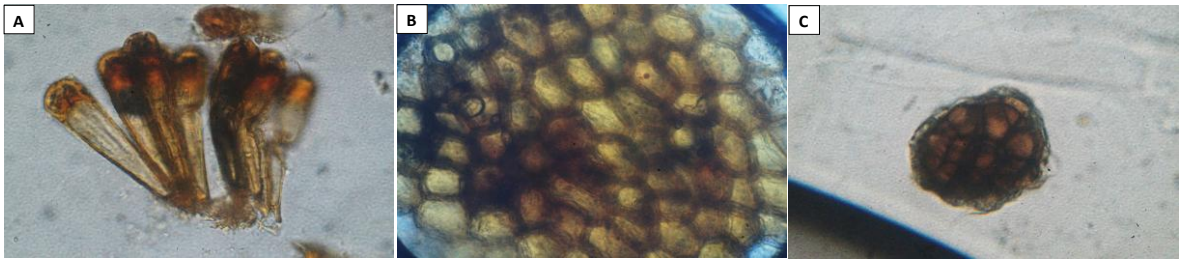


Nota: A) *cf Glomus geosporum*, B) *Glomus* sp. 1, C) *Glomus* sp. 2, D) *Glomus* sp. 3, E) *Glomus* sp. 4, F) *Glomus* sp. 5, G) *Glomus* sp. 6, H) *Glomus* sp. 7, I) *Glomus* sp. 8, J) *Glomus* sp. 9, K) *Glomus* sp. 10, L) *Glomus* sp. 11, M) *Glomus* sp. 12, N) *Glomus* sp. 13, Ñ) *Glomus* sp. 14,

O) *Glomus* sp. 15, P) *Glomus* sp. 16, Q) *Glomus* sp. 17, R) *Glomus* sp. 18, S) *Glomus* sp. 19, T) *Glomus* sp. 20, U) *Glomus* sp. 21, V) *Glomus* sp. 22. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 15

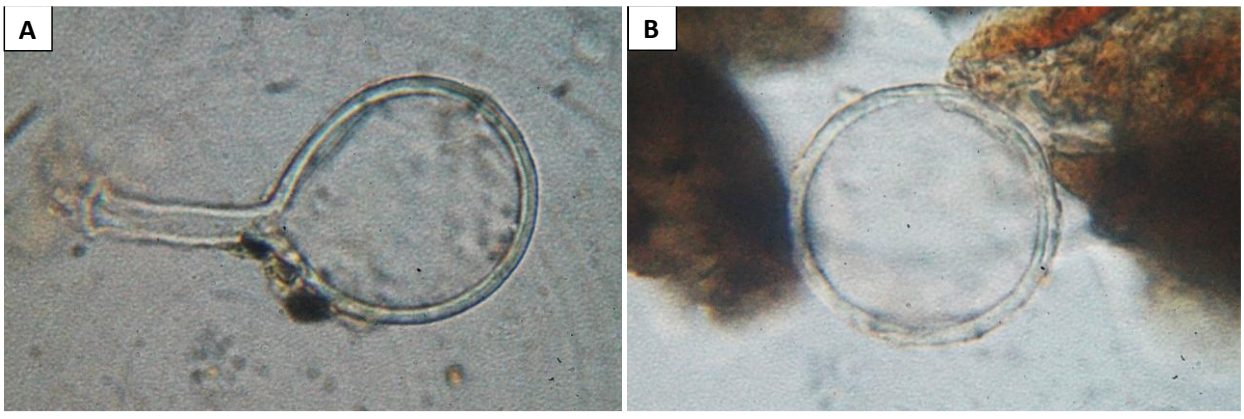
Esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares del género Sclerocystis encontradas las zonas de estudio.



Nota: A) *Scelrocystis clavispora*, B) *Sclerocystis* sp. 1, C) *Sclerocystis* sp. 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 16

Esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares del género Paraglomus encontradas las zonas de estudio



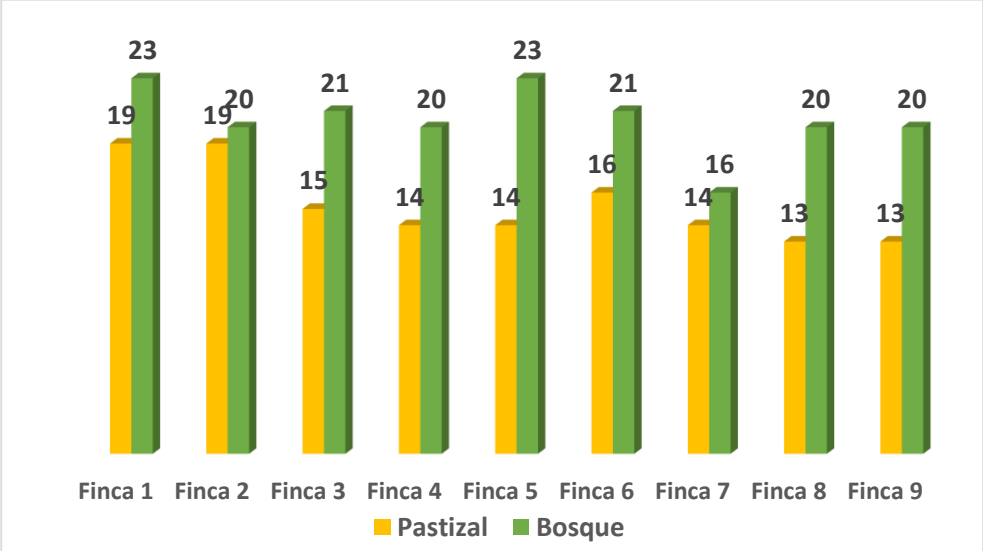
Nota: A) *Paraglomus* sp. 1, B) *Paraglomus* sp. 2. Fuente: Elaboración propia, 2025.

Comparación de los hongos formadores de micorrizas arbusculares entre zonas de transición y zonas de bosques en fincas ganaderas del corredor ecológico.

Una vez identificadas las 55 morfoespecies (**tabla 3**) detectadas en todo el estudio, al realizar la comparación del número de especies encontradas en las zonas evaluadas, se observó que, en todas las fincas, la zona de bosque presenta un mayor número de especie (**Figura 17**). Lo cual, sugiere una mayor diversidad en dichos sitios comparados con las zonas en las que se usa el suelo para ganadería.

Figura 17

Comparativo del número de especies encontradas en la zona de transición-Pastizal versus Bosque de cada una de las 9 fincas evaluadas.

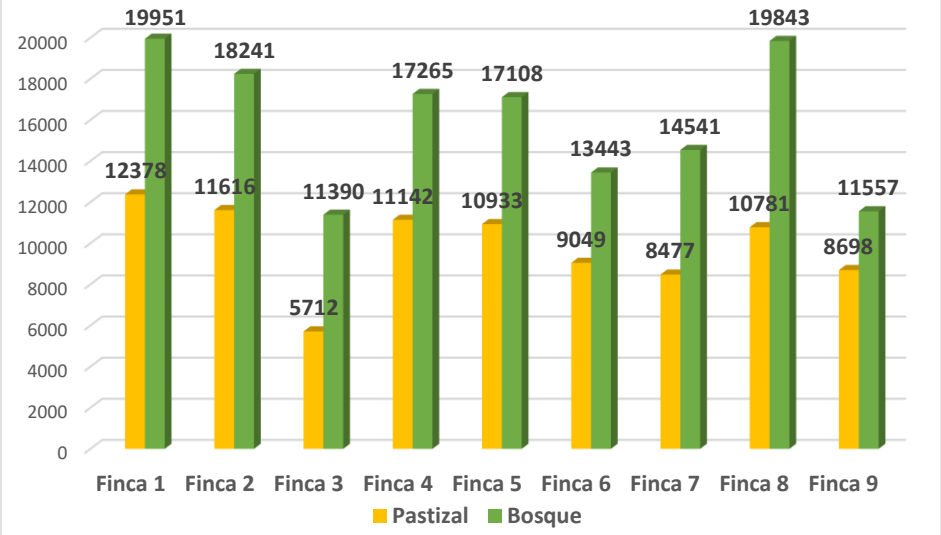


Nota: Elaboración propia, 2025.

El comportamiento anterior, también se vio reflejado al comparar el número total de esporas detectadas y contadas en cada zona de las fincas evaluadas (**Figura 18**). Por lo anterior, se tomó la decisión de realizar el cálculo de diversidad teniendo como referencia diversos índices

Figura 18

Comparativo del número de esporas totales en la zona de transición-pastizal versus bosque, encontradas encada sitio de muestreo de cada una de las 9 fincas evaluadas

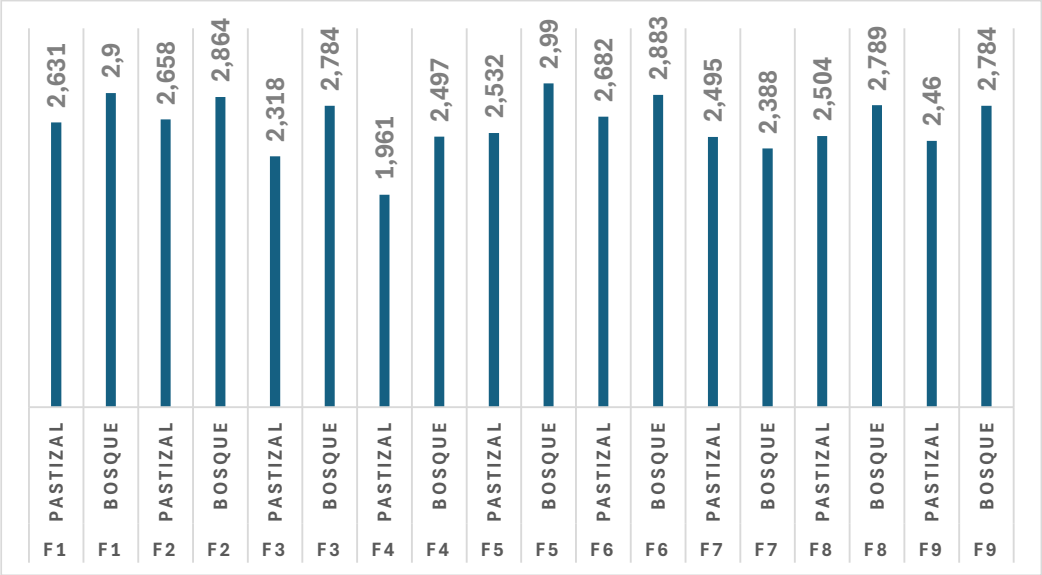


Nota: Elaboración propia, 2025.

Por ejemplo, al realizar el cálculo de índice de diversidad de Shanon-Weaver, se encontró que en todas las zonas de bosque se presenta un mayor valor del índice (**Figura 19**). Lo que sugiere, una mayor riqueza de especies y equidad en la distribución o comparada con los valores de las zonas de transición o Pastizal. En estas últimas, al presentar menor valor del índice de shanon, se puede inferir una dominancia de unas pocas especies (Moreno et al 2011; Ortiz-Burgos, 2016).

Figura 19

Resultados del cálculo de índices de diversidad de Shannon_H, en cada uno de los sitios de muestreo de las 9 fincas.

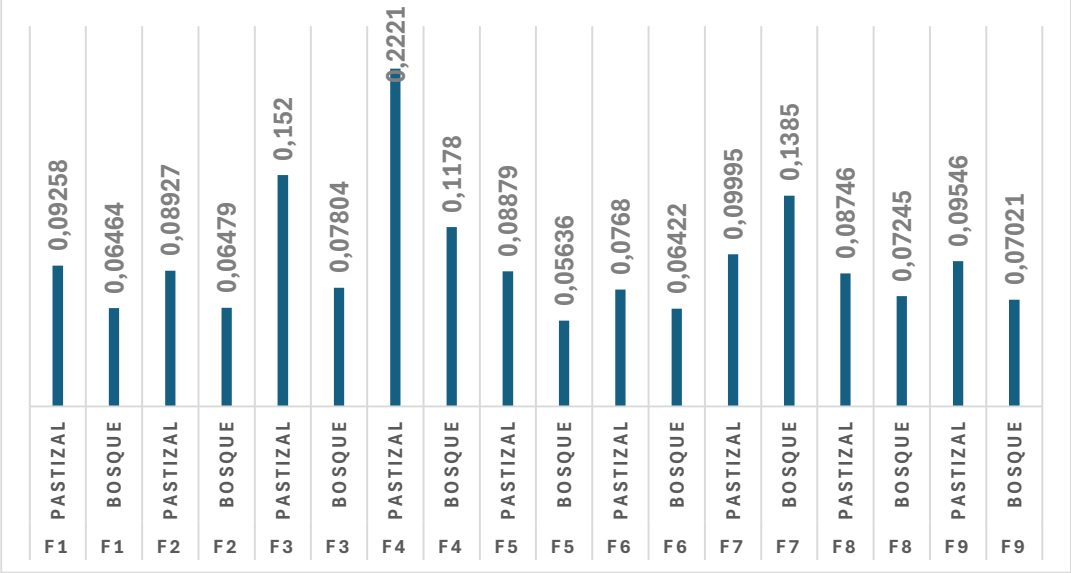


Nota: F1: finca 1; F2: finca 2; F3: finca 3; F4: finca 4; F5: finca 5; F6: finca 6; F7: finca 7; F8: finca 8; F9: finca 9. Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior se confirma, ya que, al realizar el cálculo del índice de diversidad de dominancia o índice de Simpson, se observa que los valores más altos se presentaron en zonas de transición o Pastizal (**Figura 20**), lo cual indica mayor dominancia de una o pocas especies en las zonas de pastizal y por ende menor diversidad y uniformidad de las comunidades que componen o están presentes en dichas zonas (Salazar-villareal et al., 2019; Maisyaroh et al., 2021).

Figura 20

Resultados del cálculo de índices de diversidad de Dominance_D, en cada uno de los sitios de muestreo de las 9 fincas.



Nota: F1: finca 1; F2: finca 2; F3: finca 3; F4: finca 4; F5: finca 5; F6: finca 6; F7: finca 7; F8: finca 8; F9: finca 9. Autores, 2025.

Por otro lado, se quiso verificar si las diferencias observadas en el número de especies o morfoespecies encontradas en las zonas de estudio concordaban o se mantenían en la variable del promedio de esporas/100gr de suelo. Al realizar un análisis de varianza ANOVA de una vía, se observó que si se encontraban diferencias estadísticamente significativas (p=0.000001) entre la zona de bosque frente a la zona de pastizal o transición, tomadas estas como una sola unidad. Por lo anterior, se realizó una prueba complementaria con Mann–Whitney, para determinar en qué fincas se observaba la diferencia en el número promedio de esporas/100gr de suelo entre las zonas evaluadas. Este análisis permitió visualizar que en 6 de las 9 fincas evaluadas se presenta diferencias estadísticamente significativas (**Tabla 4**). En las tres restantes, si se presentaba diferencia, pero no era estadísticamente significativa, lo anterior, se debe a que en la finca 6 y 9, los procesos de uso del suelo y el tamaño de los bosques de las fincas no son tan grandes y no se

presenta una barrera efectiva entre el pastizal y el bosque por lo que el efecto de borde y la invasión de los bosques por el ganado no permite una correcta regeneración de los mismo. En el caso de la finca 4, la diferencia estuvo muy cercana a los valores de aceptación de diferencias significativas (P=0.0601).

Tabla 4

Resumen de los resultados de la prueba complementaria Mann–Whitney.

Finca	Comparación	Diferencia entre promedios de N° esporas	P-Valor	Diferencia significativa
Finca 1	F1B vs. F1P	1514,6	0,03671	Si
Finca 2	F2B vs. F2P	1812,4	0,03671	Si
Finca 3	F3B vs. F3P	1325	0,01219	Si
Finca 4	F4B vs. F4P	1224,6	0,0601	No- pero cercano
Finca 5	F5B vs. F5P	1235	0,03671	Si
Finca 6	F6B vs. F6P	1212,8	0,1437	No
Finca 7	F7B vs. F7P	878,8	0,02157	Si
Finca 8	F8B vs. F8P	571,8	0,01219	Si
Finca 9	F9B vs. F9P	1135,6	0,2101	No

Nota: Posterior a la Prueba ANOVA, realizada para determinar si existen diferencias significativas entre el número de esporas por cada 100 gramos de suelo entre los suelos de bosque y pastizal -zonas de transición de las fincas evaluadas. Autores, 2025.

Lo encontrado en el estudio, en el que una riqueza y abundancia superior de Hongos formadores de micorrizas arbusculares en el bosque en comparación con el área de transición, parece indicar que las actividades antrópicas, como el manejo de las producciones agropecuarias, pueden disminuir la riqueza del banco de esporas micorrícicas. Esto es consistente con estudios como el realizado en bosques tropicales secos y húmedos donde se observó que los pastizales presentan diversidad de Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFM), significativamente menor que los bosques, y que la comunidad microbiana del suelo se desplaza tras la degradación por los diversos manejos agropecuarios (Saltonstall et al., 2025). Esto a su vez está respaldado por un metaanálisis que identifico que la conversión de bosques en pastizales lleva a causar disminución en la variedad microbiana en el suelo, incluyendo a los hongos formadores de micorrizas arbusculares, del mismo modo, perdida de servicios ecosistémicos asociados (Almeida et al., 2021).

Determinación de la cantidad de los Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) en los puntos de muestreo y su relación con el pH.

Con el propósito de determinar si se presentaba una relación entre la variable número de esporas /100 gr suelo y condiciones fisicoquímicas del suelo, se realizaron regresiones lineales con los datos obtenidos del pH de las zonas de estudio (**Tabla 5**), en donde se encontró que de manera general si existe una relación directa entre el pH del suelo y el número de esporas. Como se observa en la figura 21, en las 9 fincas se observa que la relación es directamente proporcional, es decir a mayor pH, mayor número de esporas.

Tabla 5

Comparativo del número promedio de esporas por cada 100 gramos de suelo y el valor promedio de pH de cada una de las zonas de estudio.

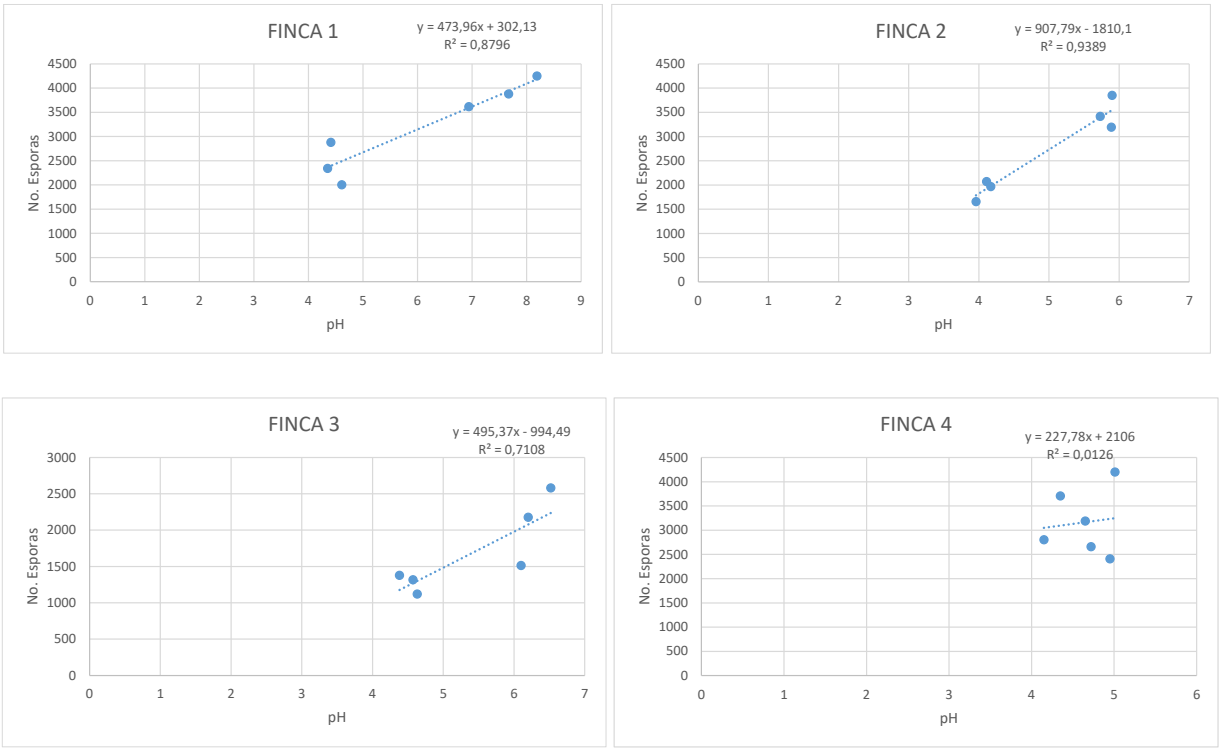
Localidad/ Zona	**Localidad/ Zona**	**pH suelo**	**N° espora/100g suelo** Promedio± Desviación estándar
Finca 1- Las Delicias	Bosque (F1B)	7,60	3990 ± 1102,6
	Potrero(F1P)	4,45	2476 ± 653,1
Finca 2 - Villa Lulu	Bosque (F2B)	5,84	3648 ± 324,4
	Potrero(F2P)	4,07	2323 ± 791,5
Finca 3 - Barcelona	Bosque (F3B)	6,27	2278 ± 795,2
	Potrero(F3P)	4,55	1142 ± 201,8
Finca 4 - Cascarota	Bosque (F4B)	4,67	3453 ± 1010,8
	Potrero(F4P)	4,60	2228 ± 572,2
Finca 5 - Loreto	Bosque (F5B)	7	3422 ± 851,8
	Potrero(F5P)	4,22	2187 ± 575,8
Finca 6 - El edén	Bosque (F6B)	5,14	2689 ± 642,1
	Potrero(F6P)	4,52	1810 ± 652,9
Finca 7 - Villa Lulu 2	Bosque (F7B)	5,38	2908 ± 494,9
	Potrero(F7P)	4,78	1695 ± 438.2
Finca 8 - Aricare	Bosque (F8B)	6,56	3969 ± 422,9
	Potrero(F8P)	4,46	2156 ± 451,5
Finca 9 - Lauranea	Bosque (F9B)	6,18	2311 ± 770,2
	Potrero(F9P)	4,68	1740± 481,3

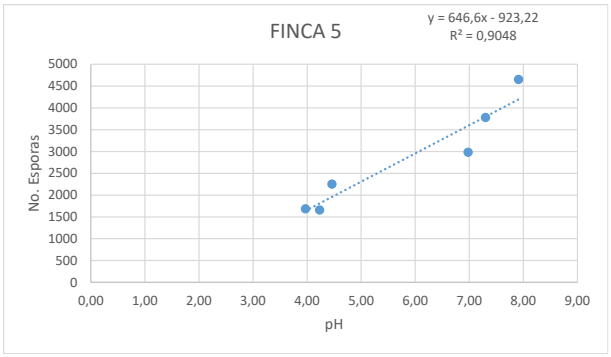
Los resultados obtenidos en las nueve fincas muestran un patrón, en cuanto a las zonas de bosque, el número de esporas de hongos de micorrizas arbusculares (HMA) muestra un valor más significativo respeto a las zonas de potreros, correlacionados con los valores del pH más neutro o ligeramente ácidos. La densidad de esporas de este análisis (promedio = 7640,5 esporas/100gm de suelo; puntos P2=4000 y B2 = 10 000 esporas/100gm suelo; tabla 1, figura 9) sugiere una abundancia de Hongos Formadores de micorrizas arbusculares (HMA) mayor al compararse con otros estudios realizados en Colombia y otras regiones neotropicales. Del mismo modo en investigación anteriores en sistemas de ganadería en el trópico (Antioquia) encontrando predominio del género Glomus, observando una relación estadísticamente destacada entre pH y la densidad de esporas. (Correlación negativa; $r \approx - 0,735$) sugiriendo que el pH influye entre la duración y la cantidad de esporas en suelo. (Caracterización de HMA en Antioquia (2019). Esto concuerda con otros estudios de investigaciones experimentales demostraron que diversas cepas y géneros micorrícicos se ven afectados en sus funciones y colonización con relación al pH (Pérez-Ortega et al., 2022; feng et al; 2023). De acuerdo con lo anterior es este estudio muestra que la abundancia de esporas HMA aumenta en suelos con valores de pH más cercanos a la neutralidad. Ediciones INCA (2021) Con promedio de pH superior (5,8 – 8,6) y densidades de esporas entre 2.278 y 3.969 esporas/100 gm de suelo, versus potreros, con pH más ácidos (4,0-4,7) con densidad mucho menor (1.142 -2.476) esporas/100gm. Confirmando el análisis estadístico una correlación positiva entre pH Y la abundancia de esporas ($r \approx 0,68$; $p < 0,01$) corroborando que la acidez del suelo limita a géneros dominantes como Glomus y Acaulospora reiterando la idea que los manejos adecuados del suelo son un factor clave en la resiliencia y composición de las comunidades de hongos formadores de micorrizas (HMA) Saldaña et al;(2022)

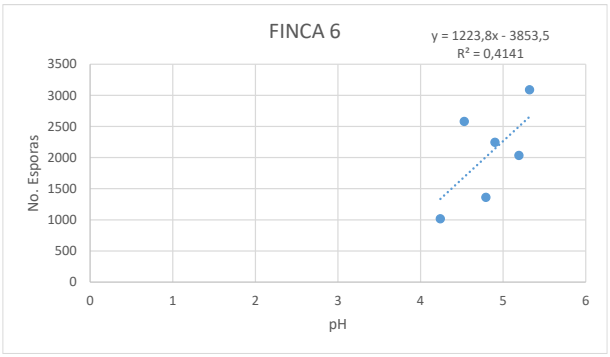
Por otro lado, al observar los resultados de las 9 fincas y tomarlos como una unidad y discriminarlos entre zona de bosque y pastizal se observa un comportamiento interesante en el que, en la zona de bosque, la relación entre el número de esporas y el pH del suelo es directamente proporcional, mientras que en el pastizal el efecto es contrario o diferente a lo que uno esperaría (**Figura 21**).

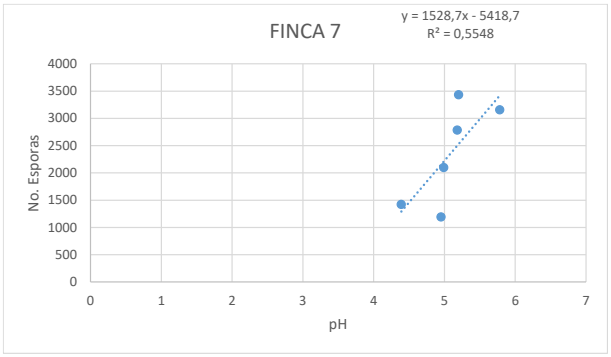
Figura 21

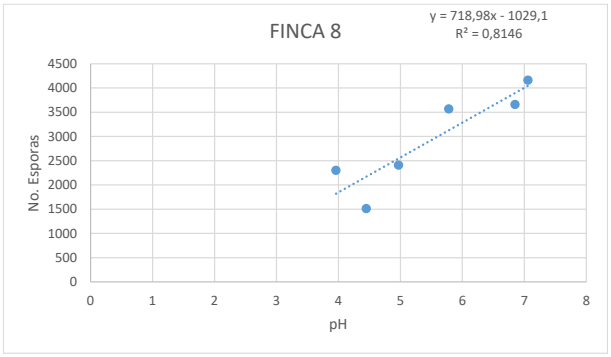
Resultados del Cálculo de correlación entre las variables pH y número de esporas en las fincas evaluadas, mediante regresiones lineales

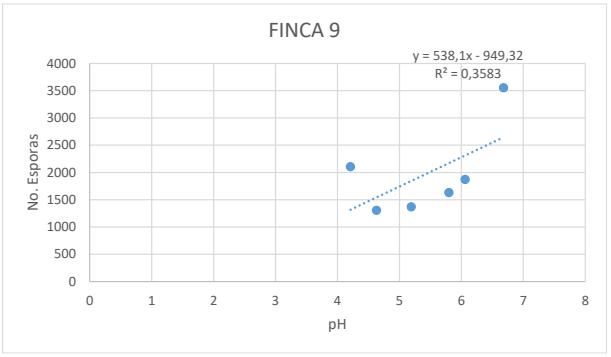












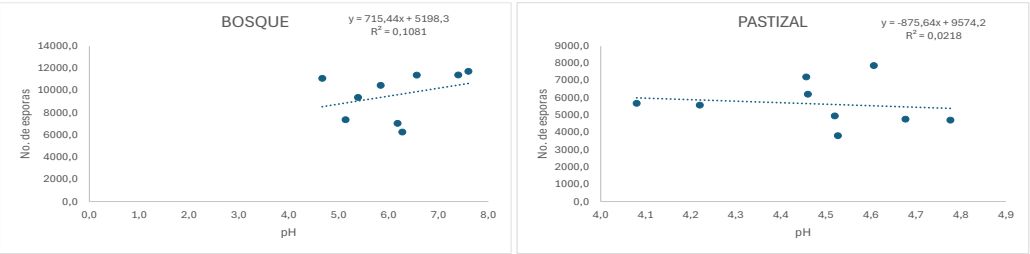
Nota: Fuente: Elaboración propia, 2025.

La compactación del suelo en las explotaciones ganaderas es un problema documentado por amplios estudios, corroborando que el pisoteo contaste, acompañado de una carga alta de bovinos y sin periodos de descansos de los potreros de la unidad productiva, lleva a la compactación del suelo. según, García (2017). Lo que genera una disminución a la porosidad del suelo, destruye los microporos, así mismo limita la infiltración de agua y el intercambio gaseoso,

generando afectaciones a la disponibilidad biológica, por ende, la disponibilidad de nutrientes necesarios para las plantas y microorganismos. Según, medina (2017),"la compactación del suelo, dado por el colapso de los espacios de poros, siendo la causa más común en la restricción física en el crecimiento y desarrollo de las raíces." Lo que impacta negativamente en los sistemas agropecuarios de una unidad productiva y limitando el adecuado desarrollo y proliferación de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), siendo para estas necesario una adecuada estructura edáfica que permita el intercambio de nutrientes y señales bioquímicas, desde este contexto es necesario la implementación de estrategias que impliquen un manejo sostenible, tal como lo señala Euclides online (2023), es crucial remediar el daño causado mediante una adecuada rotación de potreros evitando una presión mecánica sobre los suelos, buscando una adecuada recuperación estructural de los potreros. Siendo así, que la rotación racional no solo contribuye a una mejor calidad en los forrajes, también al mejoramiento de las condiciones físicas ideales para la simbiosis de las micorrizas. Teniendo un adecuado manejo de los suelos, se llevan a mejora en la estructura física, favoreciendo la actividad microbiana, incluyendo a los hongos micorrízicos, por la reducción de estrés físico y químico del ecosistema edáfico. Senra et al., sf (2005) como lo corrobora, Trujillo (2022).

Figura 22

Comparativo de los resultados del cálculo



Nota: Correlación entre las variables pH y número de esporas entre bosque versus Pastizal o zona de transición, tomando las muestras de bosque y/o de pastizal como una unidad.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 6

Resultados de los valores de pH y análisis fisicoquímicos de suelo de todos los pastizales de las fincas del estudio y dos suelos de bosque como comparativo o referencia.

ANÁLISIS	UNIDAD	Finca 1- Las Delicias-Pastizal	Finca 2 - Villa Lulu- Pastizal	Finca 3 - Barcelona-Pastizal	Finca 4 - Cascarota- Pastizal	Finca 5 - Loreto- Pastizal	Finca 6 - El Edén- Pastizal	Finca 7 - Villa Lulu 2-Pastizal	Finca 8 - Aricare- Pastizal	Finca 9 - Lauranea- Pastizal	Finca 4 - Cascarota- Bosque	Finca 6 - El Edén- Bosque
Acidez	meq/100	2,01	2,22	2,87	2,96	2,99	2,94	2,54	2,59	1,72	2,99	0,2
Aluminio	meq/100g	1,52	1,34	2,04	2,3	2,03	2,36	2,11	2,13	1,06	2,28	0,11
Azufre	mg/Kg	22,3	15,31	9,63	4,45	14,32	5,69	7,73	9,9	28,84	5,77	9,49
Boro	mg/Kg	0,151	0,051	0,121	0,307	0,051	0,03	0,041	0,061	0,121	0,02	0,061

Calcio	meq/100	1,16	0,77	1,05	0,43	0,49	0,48	0,46	0,57	0,99	0,45	3,78
Carbono	%	0,56	0,51	0,36	0,57	0,54	0,59	0,52	0,56	0,76	0,52	0,77
CICE	meq/100	3,93	3,6	4,57	3,78	3,93	3,82	3,39	3,61	3,78	3,88	6,15
Cobre	mg/Kg	<1,0	<1,0	1,21	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,21	<1,0	<1,0
Conductividad	dS/m	0,18	0,2	0,06	0,05	0,08	0,06	0,03	0,07	0,27	0,04	0,2
Densidad	g/cm3	1,02	1,08	1,05	0,91	0,94	0,99	0,98	0,99	0,93	0,98	0,99
Fosforo	mg/Kg	28,72	5,53	1,63	1,79	2,49	1,93	6	2,21	28,3	46,79	6,59
Hierro	mg/Kg	168,48	122,53	198,69	27,18	29,17	25,83	19,17	20,83	148,48	19,17	38,16
Humedad	%	0,9	1,01	1,05	2,22	1,54	1,6	1,67	1,53	1,08	1,62	1,96
Magnesio	meq/100g	,44	,31	,37	,12	,15	,12	,12	,16	,58	,14	,46

Manganeso	mg/K	5,47	9,76	5,56	,01	,5	,59	,97	,07	2,93	,87	5,2
Materia	%	,97	,88	,62	,98	,93	,02	,9	,97	,31	,9	,33
Nitrógeno	mg N-	4,58	7,77	,58	,16	,88	,88	,26	,25	8,31	,64	,52
Nitrógeno	mg	5,02	6,41	,84	,77	,12	,13	,51	,5	5,58	,88	,76
Nitrógeno	%	,05	,04	,03	,05	,05	,05	,05	,05	,07	,05	,07
pH	Unid	,45	,07	,55	,6	,22	,52	,78	,46	,68	,67	,14
Potasio	meq/100g	,19	,16	,16	,15	,18	,17	,16	,17	,32	,17	,61
Sodio Intercambiable	meq/100g	,13	,14	,12	,12	,12	,11	,11	,12	,17	,13	,1

Textura del suelo		ranco	ranco	rci-llo-sos	ranco Arci-llo Are-noso	ranco Arci-llo Are-noso	ranco Arci-llo Are-noso	ranco Arci-llo Are-noso	ranco Arci-llo Are-noso	ranco Arci-lloso	ranco Arci-llo Are-noso	ranco Arci-lloso
%		6,36	8,36	2,36	0,36	2,36	6,36	2,36	2,36	0,36	2,36	8,36
%		7,77	5,72	1,51	1,36	9,56	3,51	6,08	7,53	3,6	7,5	3,44
%		5,87	5,9	6,13	8,28	8,08	0,13	1,56	0,11	6,04	0,14	8,2
N°	nd	476	323	142	228	187	810	695	156	740	453	689

Nota: Fuente: Elaboración propia, 2025.

Este estudio tuvo gran importancia para diversas actividades del sector primario, como la agricultura y la ganadería, ya que la simbiosis micorrízica resulta esencial en plantaciones de vegetales, granos y legumbres, en procesos de reforestación y en especies productoras de oxígeno, así como en el adecuado desarrollo y crecimiento de las pasturas destinadas a la alimentación bovina (Rivera, Sánchez & Domínguez, 2018). Además, es de gran relevancia indicar que debido a la gran preocupación por el medioambiente se han impulsado investigaciones sobre el impacto de productos químicos como fertilizantes, pesticidas y herbicidas, en especial en su componente

biológico, la microbiota, y debido a su gran relevancia se ha observado que los métodos de cultivo sostenibles y naturales pueden ser incluso más efectivos que los químicos (Bastidas, 2022). Entre los organismos del suelo más importantes se encuentran los hongos, los cuales son cruciales, ya que pueden establecer una simbiosis con las raíces del 90% de todas las especies de plantas (Aslanpour et al., 2019). y, en concreto, los hongos simbióticos que forman micorrizas arbusculares (también denominados hongos micorrícicos arbusculares) (Balestrini et al., 2010). Los hongos micorrícicos arbusculares son biotrofos obligados que viven dentro de las células corticales activas de la mayoría de las plantas terrestres (Vukicevich et al., 2019).

Es importante agregar también que la simbiosis micorrízica es una relación simbiótica entre las plantas y las micorrizas, ya que no solo ayuda a la planta a nutrirse, sino que también la fortalece para enfrentar situaciones difíciles (Pérez et al, 2023). Esta asociación beneficiosa actúa como “escudo protector”, en razón a que la planta no sólo esa mejor alimentada, sino que también es menos susceptible a que muera, ya que, por un lado, la simbiosis micorrízica ayuda a las plantas a tolerar el estrés abiótico, es decir, aquellos desafíos no vivos, como la sequía, las temperaturas extremas, entre otros. Por otro lado, la presencia de micorrizas activa los mecanismos de defensa de la planta frente al estrés biótico, es decir, enfermedades (patógenos), plagas, entre otros (Rivero et al, 2015). El pH del suelo es una de las propiedades químicas más importantes porque afecta directamente las características físicas, químicas y, especialmente, biológicas. Como se ha demostrado en la literatura científica, esta variable edáfica determina la disponibilidad de nutrientes y el tipo de microorganismos que pueden prosperar en un entorno determinado (Wild, 1992). Es aquí donde se establece una conexión crucial con las micorrizas arbusculares (HMA). Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) son importantes no solo porque viven

en el suelo, sino porque su estructura más crucial, el micelio extraradical, se extiende ampliamente por él. A diferencia de otros organismos simbióticos que residen principalmente en el interior de su hospedero, gran parte de las micorrizas operan fuera de las raíces de la planta, en el suelo. Es por esto que las condiciones del suelo (edáficas) son tan fundamentales para su correcto funcionamiento (Helgason, 2009). Esta variable es de especial importancia para los hongos micorrícicos arbusculares (HMA), que son microorganismos simbióticos esenciales para la salud vegetal. A diferencia de otros simbiontes, la mayor parte de la biomasa de los HMA se encuentra en el suelo, a través de su micelio extraradical, que se encarga de la absorción de agua y nutrientes. Por lo tanto, no es de extrañar que el funcionamiento de las micorrizas dependa directamente de las condiciones edáficas.

Por su importancia es importante traer a colación un estudio en Antioquia el cual demostró la influencia directa del manejo del suelo y las condiciones edáficas en las poblaciones de micorrizas. La investigación, que analizó suelos de trópico alto (con pH moderadamente ácido) y trópico bajo (con pH fuertemente ácido), encontró una correlación negativa entre el pH y la cantidad de esporas, sugiriendo que los suelos más ácidos del Magdalena Medio tienden a favorecer el desarrollo de estos hongos. Además, también, se identificó que el género Glomus es el más abundante y adaptable en ambas regiones, lo que destaca su importancia en estos ecosistemas. Este hallazgo subraya que las características climáticas y el tipo de pasto influyen en la diversidad y el establecimiento de los HMA, demostrando que la salud del suelo y la funcionalidad de las micorrizas están fuertemente ligadas a las prácticas de manejo y a las condiciones ambientales locales (Restrepo, 2019). Sumado a ello, otro estudio llevado a cabo por Bolaños et al, 2000, demuestra la tolerancia al pH en los suelos ganaderos de Colombia, identificando que especies

como Glomus macrocarpum con un pH inferior a 5.0. Esto refuerza el argumento de que ciertas cepas de micorrizas tienen la capacidad de adaptarse a condiciones de acidez. A su vez, este articulo también indica que la fertilización reiterada influye negativamente en la cantidad y diversidad de las esporas de micorrizas.

8. Conclusiones

- Se identificaron 55 morfoespecies de hongos formadores de micorrizas arbusculares en los suelos del bosque, y potreros en el corredor ecológico villavicencio, distribuidos en 4 órdenes taxonómicos. La dominancia de los géneros de Glomus *y Acaulospora* reafirma el alto nivel que estas poseen para adaptarse a suelos ácidos, su aporte en los ciclados de fósforo del mismo modo apoyando la conservación y estabilidad de los agroecosistemas.
- La amplitud y diversidad de esporas de hongos de micorrizas arbusculares (HMA)encontrados en las areas boscosas de la ciudad de villavicencio confirma la importancia de impulsar estrategias de manejos y conservación del suelo. Tales como, acciones de conservación de las coberturas vegetales, crear ambientes como arborización entre los potreros, realizar rotación de los bovinos de acuerdo a la necesidad de la unidad productiva, esto evitando la degradación del suelo, la compactación, por ende, la poca infiltración hídrica y la absorción de nutrientes. Buscando estrategias para diversificar los sistemas de producción lo que lleva a la conservación y mantenimiento de estas comunidades fúngicas y por tanto la estabilidad ecológica que brinda mayor sostenibilidad a sus sistemas productivos.

- La presencia de géneros con menor abundancia, como *Gigaspora Scutellospora y paraglomus,* toma transcendencia por su rol de como indicadores de calidad ecológica, su valor técnico es de gran importancia ya que este tipo de especies son altamente sensibles a la perturbación antrópica, lo que apoya como bioindicador del estado en cuanto a la conservación del suelo y la vegetación que en ellos influye, adicional son de gran importancia: La Gigaspora esta en el desarrollo radical y contribuye acondiciones de salinidad y estrés hídrico; la Scutellospora colabora en la formación de agregados estables mediante la producción de Glomalina, mejorando la estructura edáfica; en cuanto a paraglomus favorece en la solubilización de fósforo y la promoción de metabólicos secundarios en las plantas tropicales. Por ende, los géneros encontrados en este estudiaron corroborar que son claves como como bioinoculantes buscando estrategias de restauración ecológica en el corredor ecológico villavicencio -Meta.
- En relación con los parámetros edáficos, el análisis fisicoquímico de los suelos obtenidos de las zonas de estudio en el corredor ecológico villavicencio mostro que el Ph es un modulador central cuando hablamos de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) Observándose que en suelos con Ph ácidos se nota un aumento en la densidad de esporas de Glomus lo que indica que tiene una mejor adaptación y mayor resiliencia en condiciones de suelos ácidos que vienen a ser normales en los suelos del piedemonte llanero(suelos oxisoles).siendo menos densidad de esporas en suelos con tendencia a ser más elevados lo que sugiere que la alcalinidad es una limitante para la proliferación de algunos

géneros. Estos resultados llevan analizar, planificar e implementar prácticas de manejo diferenciadas en las producciones agropecuarias, para llegar a practicas de manejo edáfico que me beneficie a corto, mediano y largo plazo, apoyando la racionalidad en los bovinos, con enmiendas controladas según la necesidad uso de vegetación diversificada que apoyen el control de la acidez para así mismo conservar actividad micorrícica funcional. Buscando la optimización de la actividad simbiótica de la planta versus hongo potenciando la eficiencia en la absorción de nutrientes en los sistemas productivos del sector.

9. Recomendaciones

- Promover la conservación de areas boscosas dentro de las unidades productivas, teniendo en cuanta que son fundamentales al ser la fuente de conservación de diversidad y densidad de especies de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA). En pro a la mejora y estabilidad de la actividad microbiana de estos ecosistemas.
- Manejo de Ph del suelo mediante enmiendas correctivas controladas (biofertilizantes-cal agrícola-compost) buscando las condiciones de acidez favorables para la proliferación de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA)como Glomus sin llevar afectación a otras especies.
- Introducción desde la comunidad educativa en base a este estudio, para realizar proyectos de investigación y posibles bioinoculantes a partir de *Gigaspora, Scutellospora y Paraglomus.* Esto dado por su potencial en proceso de recuperación de suelos y su aporte en la resiliencia de cultivos al factor de estrés abiótico.
- Diseñar estrategias que impulsen la extensión rural en la comunidad buscando divulgar la importancia de conservación del suelo y en él los hongos micorrícicos arbusculares, desde el acompañamiento continuó, buscando infundir prácticas de manejo sostenible.

10. Bibliografía

Aguilar, K., Vallejos-Torres, G., Arévalo, L., & Becerra, A. (s.f.). Inoculación de consorcios micorrízicos arbusculares en. Universidad Nacional de San Martín, Perú.

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), 5–14. https://doi.org/10.18845/tm.v29i7.2700

Almeida, A. C., dos Santos, L. S., Fonseca, D. da, & et al. (2021). A meta-analysis of tropical land-use change effects on the soil microbial community and functions. *Biotropica*. https://doi.org/10.1111/btp.12931

Alvarado, A., Chavarría, M., Guerrero, R., Boniche, J., & Navarro, J. R. (2004). Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de teca (*Tectona grandis* Lf) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, *28*(1), 89-100. https://www.redalyc.org/pdf/436/43628109.pdf

Arruda, M. V. d. M., Dias, N. d. S., de Albuquerque, C. C., Saldanha, E. C. M., Gurgel, P. H. d. A., Costa Filho, M. F., Souza, M. H. d. A., Rodrigues, N. d. S., Costa Lima, M. A., Costa Souza, M. E. d., Mendonça, L. Â., Pereira, K. T. O., Moreira, R. C. L., de Morais, M. C., & Medeiros, J. F. d. (2025). Effects of the arbuscular mycorrhizal fungus Gigaspora al-

bida (Gigasporaceae) on the physiology, growth, and Na/K balance of Creole corn (Poaceae) under different salinity levels. Agriculture, 15(6), 660. https://doi.org/10.3390/agriculture15060660

Aslanpour, M., Doulati Baneh, H., Tehranifar, A., Shoor, M. (2019). Effect of Mycorrhizal Fungi on Macronutrients and Micronutrients in the White Seedless Grape Roots Under the Drought Conditions. 10(3), 397–408. https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2019.39

Bastidas, M. (2022). La microbiota del suelo: micorrizas arbusculares y sus efectos en el viñedo. https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/55639/TFG-L3188.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Balestrini, R., Magurno, F., Walker, C., Lumini, E., Bianciotto, V. (2010). Cohorts of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in Vitis vinifera, a typical Mediterranean fruit crop.

Environmental Microbiology Reports, 2(4), 594–604. https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2010.00160.x

Boyno, G., Demir, S., Rezaee Danesh, Y., Durak, E. D., Çevik, R., Farda, B., Djebaili, R., & Pellegrini, M. (2023). A new technique for the extraction of arbuscular mycorrhizae fungal spores from rhizosphere. *Journal of Fungi*, *9*(8), 845. https://doi.org/10.3390/jof9080845

Bolaños, N., Botero, E., & Restrepo, M. (2000). Identificación de micorrizas arbusculares en suelos de la zona cafetera colombiana. Cenicafé, 51(4), 245-262.

Bueno, C. G., Moora, M., Gerz, M., Davison, J., Öpik, M., Pärtel, M., & Zobel, M. (2022). The Glomeromycota in the Neotropics: Diversity patterns and ecological drivers. *New Phytologist*, *236*(4), 1841-1854. https://doi.org/10.1111/nph.18325

Cuba, M. N. A., Santillán, S. M. T., Hurtado, G. P., Ordinola, S. A. P., & Mainegra, A. B. (2020). Caracterización de la colonización por micorrizas en *Retrophyllum rospigliossi* (Pilger) en el bosque Huamantanga, Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, *8*(3), 535-549.

Ediciones INCA. (2021). Efecto del pH en la bioprotección ejercida por algunas cepas de HMA frente a *Fusarium oxysporum*. https://www.redalyc.org/journal/1932/193275342006/

Euclides Online. (2023). *Rotación y uso racional de potreros*. Tríptico técnico R1.5. NAMA Ganadería Bovina de El Salvador. https://euclidesonline.org/uploads/documento/archivo/5349/240705_TRIPTICO_R1.5

Flores, E., Miranda, M., & Villasis, M. (2017). El protocolo de investigación VI: Cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial. *Revista Alergia México*, *64*(3), 364-370.

Forero Riaño, J. A., & Polanco Puerta, M. F. (2021). Análisis de la deforestación en La Macarena, antes y después de los acuerdos de paz. *Colombia Forestal*, *24*(2), 9-23.

Frontiers in Plant Science. (2024). The four major types of mycorrhizas: Distinct morphologies and functions shaped by 400 million years of coevolution. *Frontiers Media*. https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1510941/full

Garcia, L. P. (2016). Importancia de las micorrizas arbusculares (ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonía colombiana. *Universidad Distrital, Caldas*. https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.14

Gómez, M. M. (s.f.). *Evaluación de la diversidad de hongos formadores de micorrizas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UN.

Henao, M. D. V., & Castillo, H. G. C. (2021). Aportes del análisis de AB Frank para la enseñanza de las micorrizas. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, *5*(2), 20-41.

Hernández, E., Trejo, D., Rivera, A., & Ferrera, R. (2020). La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café. *Tecnología en Marcha*. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57364776016

Helgason T, (2009). Fitter AH. Natural selection and the evolutionary ecology of the arbuscular mycorrhizal fungi (*Phylum Glomeromycota*). Journal of Experimental Botany. doi:10.1093/jxb/erp144

Lara-Calderón, M. A., Cedeño Boada, Á. F., Macas, G. M., & Chávez Cedeño, V. (2024). Efecto de la inoculación con tres especies de hongos micorrízicos vesículo arbusculares, en la producción primaria de pasturas del género *Brachiaria*. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, *7*(1), 751-763. https://doi.org/10.34188/bjaerv7n1-058

Leblanc, H. A., & Márquez, E. (2014). Efecto de los hongos formadores de micorrizas arbusculares en el desarrollo de plantas de cacao en vivero. *Tierra Tropical*, *10*(2), 191-200. https://acortar.link/XnNRcj

Maisyaroh, W., Hakim, L., Sudarto, & Batoro, J. (2021). Bird diversity in the Gumuk ecosystem in Jember. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *886*(1), 1-7. https://doi.org/10.1088/1755-1315/886/1/012023

Mango, A. (2019). Inoculación con rizobacterias en *Paspalum atratum* cv. Cambá FCA. Efecto sobre el crecimiento, producción de biomasa micorrización. http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/9186

Martin, J. (2024, 27 de febrero). Micorrizas en Retrophyllum rospigliossi Pilger: Un estudio en el bosque Huamantanga, Perú. *una planta*. https://unaplanta.com/colonizacion-de-micorrizas

Mazo Lopera, L. F. (2023). *Hongos micorrícicos arbusculares para el mejoramiento de pastos Brachiaria decumbens y Brachiaria brizantha: alternativa sostenible en la ganadería del trópico bajo colombiano* [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Digital UdeA. http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10154/214368

Malar, C. M., Wang, Y., Stajich, J. E., Kokkoris, V., Villeneuve-Laroche, M., Yildirir, G., & Corradi, N. (2022). Early branching arbuscular mycorrhizal fungus *Paraglomus occultum* carries a small and repeat-poor genome compared to relatives in the Glomeromycotina. *Microbial Genomics, 8*, 000810. https://doi.org/10.1099/mgen.0.000810.

Medina, M. C. (2016). Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal – RECIA*, *8*(1), 88–93. https://www.redalyc.org/pdf/5958/595879099014.pdf

Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *82*(4), 1249-1261. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000400019&lng=es&tlng=es

Mosquera-Mosquera, R. S., Valois-Cuesta, H., & Vasco-Palacios, A. M. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi dynamics during natural succession in mining-impacted areas of a tropical rainforest in Chocó, Colombia. *Bosque*, *44*(3), 617-627. https://doi.org/10.4067/S0717-92002023000300617

Naranjo, J., Mora-González, A., Oviedo-Anchundia, R., Naranjo-Torres, H., Flores-Cedeño, J., & Barcos-Arias, M. (2022). Estudio preliminar de micorrizas arbusculares presente en *Phytelephas aequatorialis* localizado en tres agroecosistemas costeros. *CIENCIA UNEMI*, *15*(39), 65-75.

Ochoa-Sánchez, J. (2020). *El concepto de simbiosis desde la relación entre hongos formadores de micorrizas y raíces de las plantas: Estrategia teórico práctica para grado quinto* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UN. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77967

Ortiz-Burgos, S. (2016). Shannon-Weaver diversity index. In M. J. Kennish (Ed.), *Encyclopedia of estuaries* (pp. 719-720). Springer. https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_233-1

Osorio Rillivas, M., & Calle, C. (2019). Micorrizas Arbusculares. *Revista de la Corporación Autónoma Regional del Huila*, 2(1), 3-10. https://www.redalyc.org/journal/3217/321744162010/html/

Parra, A. S., Ortiz, A. M. M., & Huertas, H. D. (2021). Response of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Soil Chemical Properties to *Brachiaria decumbens* Grass Production Technologies. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *64*, e210323. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021190323

Patiño Torres, C., & Sánchez de Prager, M. (2014). Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (*Capsicum annuum* L.). *Acta Agronómica*, *63*(2), 136-144. https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.36956

Pérez, 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), 366–385. https://doi.org/10.24188/recia.v3.n2.2011.412

Pérez, A. C., & Peroza, V. C. (2013). Micorrizas arbusculares asociadas al pasto angleton (*Dichathium aristatum* Benth) en fincas ganaderas del municipio de Tolú, Sucre-Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, *18*(1), 3362-3369. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69325829016

Pérez-Ortega, E., Rivera-Espinosa, R. A., Saggin-Junior, O. J., & Fernández-Suárez, K. (2023). Efecto del pH en la bioprotección ejercida por algunas cepas de hongos micorrízicos arbusculares. *Cultivos Tropicales*, *43*(3), https://cu-id.com/2050/v43n3e06. Recuperado a partir de https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1674

Peri, P. L., Toledo, S., Billoni, S. L., & Monelos, L. H. (2018). Estudiando las micorrizas y los microorganismos en suelos de Santa Cruz: Influenciados por diferentes intensidades de pastoreo. *INTA*. Recuperado de https://www.google.com/search?q=https://inta.gob.ar/documentos/estudiando-las-micorrizas-y-los-microorganismos-en-suelos-de-santa-cruz-influenciados-por-diferentes-intensidades-de-pastoreo

Restrepo Giraldo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., & Molina Guzmán, L. P. (2019). Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. *Idesia (Arica)*, *37*(1), 35-44.

REY, A. M., & CHAMORRO DRAMÍREZ, M. (2005). Efecto de la doble inoculación de rizobios y micorrizas sobre la producción y calidad del forraje de *Leucaena Leucocephala*. *Revista Corpoica*, *6*(2), 52-59.

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.

Restrepo G., Karla Jaqueline, Montoya M., Henao P., & Molina L. (2019). Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. Idesia (Arica), 37(1), 35-44. https://dx.doi.org/10.4067/S0718- 34292019005000301

Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de Iniciación Científica*, *4*, 101-105. https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829

Rivero J, Gamir J, Aroca R, Pozo MJ, Flors V. (2015). Metabolictransition in mycorrhizal tomato roots. Frontiers inMicrobiology. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00598

Romero, D., Herrera, Y., Polania, S., & Toledo, E. (2022). Causas y consecuencias de la deforestación para un futuro de la Amazonía. *Innventiva*, *(4)*.

Rosa, B., Souza, R. C., Mendes, L. W., Antunes, J. E. L., & Tsai, S. M. (2022). Land-use change from forest to pasture decreases soil bacterial diversity and functional potential in the

Brazilian Amazon. *Science of The Total Environment*, *838*, 156005. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156005

Ruiz, P. O., Rojas, K. C., & Sieverding, E. (2011). La distribución geográfica de los hongos de micorriza arbuscular: una prioridad de investigación en la Amazonía peruana. *Espacio y Desarrollo*, *(23)*, 47-63. https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/3479

Ruiz Sánchez, M., Santana Baños, Y., Muñoz Hernández, Y., Yoan Martínez, A., Benitez, M., Vishnu Bharat, B., & Peña Chávez, Y. (2015). Simbiosis de micorrizas arbusculares en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones de inundación y secano. *Acta Agronómica*, *64*(3), 227-234.

Salazar Villarreal, M. del C., Vallejo Cabrera, F. A., & Salazar Villarreal, F. A. (2019). Inventarios e índices de diversidad agrícola en fincas campesinas de dos municipios del Valle del

Cauca, Colombia. *Entramado*, *15*(2), 264-274. http://dx.doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.5744

Saldaña, A. F. A., Perdomo, J. L. C., Ramírez, M. E., Medina, A. H., & Belalcázar, M. L. V. (2022). Hongos formadores de micorrizas arbusculares nativos en la granja agroecológica de UNIMINUTO, Villavicencio Meta. *Suelos Ecuatoriales*, *52*(1-2), 13-30.

Saltonstall, K., van Breugel, M., Navia, W., Castillo, H., & Hall, J. S. (2025). Soil microbial communities in dry and moist tropical forests exhibit distinct shifts in community composition but not diversity with succession. *Microbiology Spectrum*, *13*(2), e01931-24. https://doi.org/10.1128/spectrum.01931-24

Santamaría, M., Areiza, A., Matallana, C., Solano, C., & Galán, S. (2018). *Estrategias complementarias de conservación en Colombia*. Instituto Humboldt, Resnatur y Fundación Natura.

Seguel Fuentealba, A. (2014). El potencial de las micorrizas arbusculares en la agricultura desarrollada en zonas áridas y semiáridas. *Idesia (Arica)*, *32*(1), 3-8. https://www.google.com/search?q=https://scielo.cl/scielo.php%3Fscript%3Dsci_arttext%26pid%3DS0718-34292014000100002

Senra, A., Martínez, R. O., Jordán, H., Ruiz, T., Reyes, J. J., Guevara, R. V., & Ray, J. V. (s.f.). Principios básicos del pastoreo rotacional eficiente y sostenible para el subtrópico americano. https://www.redalyc.org/pdf/1930/193017852003.pdfayudar-a-mitigar-la-degradacion-de-las-praderas-3487545

Sosa Rodríguez, T., Sánchez Nieves, J., Morales Gutiérrez, E., & Cruz Cortés, F. (2005). Interacción micorrizas arbusculares- *Trichoderma harzianum* (Moniliaceae) y efectos sobre el crecimiento de *Brachiaria decumbens* (Poaceae).

Soto Sogamoso, J. E., Pinto Lopera, J. E., & Millán Rojas, E. E. (2022). Micorrizas arbusculares y las técnicas de visión artificial para su identificación. *TecnoLógicas*, *25*(54), e302. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-77992022000200302&script=sci_arttext

Trejo, D., Hernández-Acosta, E., Baeza-Guzmán, Y., Pérez-Toledo, G., Morgado-Viveros, E., & Bañuelos, J. (2021). Efectividad de los hongos micorrízicos arbusculares introducidos y nativos en seis leguminosas coberteras. *Scientia Fungorum*, *51*, e1366. https://doi.org/10.33885/sf.2021.51.1366

Trujillo Velásquez, J. (2022, 11 de noviembre). ¿Por qué la rotación de potreros puede ayudar a mitigar la degradación de las praderas? *Agronegocios.co*. https://www.agronegocios.co/finca/por-que-la-rotacion-de-potreros-puede-ayudar-a-mitigar-la-degradacion-de-las-praderas-3487545

Vallejo, M. I., & Gómez, D. I. (2017). Marco conceptual para el monitoreo de la biodiversidad en Colombia. *Biodiversidad en la Práctica*, *2*, 1-47.

Vega, N. W. (2020). *Microorganismos del suelo y su relación con el establecimiento de simbiosis con Physalis peruviana L.* [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional UdeA.

Vukicevich, E., Lowery, D.T., Eissenstat, D., Hart, M. (2019). Correction to: Changes in arbuscular mycorrhizal fungi between young and old Vitis roots (Symbiosis, (2019), 10.1007/s13199-019-00598-3). Symbiosis, 1, 33–42. https://doi.org/10.1007/s13199-019-00604-8

Yuan, P., Wang, Y., Peng, J., Chen, Y., Li, J., Eissa, M. A., Luo, G., & Tian, C. (2025). *Paraglomus* and *Glomus* arbuscular mycorrhizal fungi induce the green tea catechin quality index and phosphorus bioavailability in tropical soils. *Mycorrhiza, 35*(2), 11. https://doi.org/10.1007/s00572-025-01185-9

Wilches Ortiz, W. A., Ramírez Gómez, M. M., Pérez Moncada, U. A., Serralde Ordoñez, D. P., Peñaranda Rolon, A. M., & Ramírez, L. (2019). Asociación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Colombia. *Terra Latinoamericana*, *37*(2), 175-184. https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481

Wild A. (1992). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantassegún Russell. In: La población microbiana del suelo. Murdi-Prensa. Madrid, España: Ed. Mundi-Prensa. p.471-94.

11. Anexos

Anexo 1

Resultados totales de los cálculos de índices de diversidad aplicados en el estudio.

Indice	Finca 1		Finca 2		Finca 3		Finca 4		Finca 5	
	Pastizal	Bosque	Pastizal	Bosque	Pastizal	Bosque	Pastizal	Bosque	Pastizal	Bosque
Taxa_S	19	24	19	20	15	21	14	20	14	23
Individuales	12378	19951	11616	18241	5712	11390	11142	17265	10933	17108
Dominance_D	0,09258	0,06464	0,08927	0,06479	0,152	0,07804	0,2221	0,1178	0,08879	0,05636
Simpson_1-D	0,9074	0,9354	0,9107	0,9352	0,848	0,922	0,7779	0,8822	0,9112	0,9436

Shannon_H	2,631	2,9	2,658	2,864	2,318	2,784	1,961	2,497	2,532	2,99
Evenness_e^H/S	0,7306	0,7573	0,7513	0,8765	0,6768	0,771	0,5077	0,6074	0,8988	0,8649
Brillouin	2,625	2,895	2,652	2,86	2,309	2,778	1,957	2,493	2,527	2,985
Menhinick	0,1708	0,1699	0,1763	0,1481	0,1985	0,1968	0,1326	0,1522	0,1339	0,1758
Margalef	1,91	2,323	1,923	1,937	1,618	2,141	1,395	1,947	1,398	2,257
Equitability_J	0,8934	0,9125	0,9029	0,956	0,8558	0,9146	0,7432	0,8336	0,9596	0,9537
Fisher_alpha	2,2	2,693	2,219	2,219	1,869	2,492	1,58	2,234	1,584	2,618
Berger-Parker	0,1852	0,1128	0,1837	0,1304	0,3333	0,1698	0,3529	0,25	0,1543	0,1053

Chao-1	19	24	19	20	15	21	14	20	4	3

Índice	Finca 6		Finca 7		Finca 8		Finca 9	
	Pastizal	Bos-que	Pasti-zal	Bosque	Pasti-zal	Bos-que	Pasti-zal	Bos-que
Taxa_S	16	21	14	16	13	20	13	20
Individuals	9049	13443	8477	14541	10781	19843	8698	11557
Dominance_D	0,0768	0,06422	0,09995	0,1385	0,08746	0,07245	0,09546	0,07021
Simpson_1-D	0,9232	0,9358	0,9001	0,8615	0,9125	0,9275	0,9045	0,9298
Shannon_H	2,682	2,883	2,495	2,388	2,504	2,789	2,46	2,784
Evenness_e^H/S	0,9131	0,8507	0,8657	0,6807	0,9409	0,813	0,9006	0,8092

Bri-	2,675	2,877	2,489	2,384	2,499	2,785	2,455	2,778
Menhinick	0,1682	0,1811	0,1521	0,1327	0,1252	0,142	0,1394	0,186
Margalef	1,646	2,104	1,437	1,565	1,292	1,92	1,323	2,031
Equitabi-	0,9672	0,9469	0,9454	0,8613	0,9763	0,9309	0,9592	0,9293
Fisher_alpha	1,888	2,437	1,637	1,776	1,459	2,196	1,5	2,353
Berger-Parker	0,1666	0,125	0,2222	0,303	0,144	0,1281	0,1667	0,125
Chao-1	16	1	4	16	3	0	3	0

Anexo 2

Resultados de la prueba complementaria Mann–Whitney.

	F1B	F1P	F2B	F2P	F3B	F3P	F4B	F4P	F5B	F5P
F1B		0,03671	0,5309	0,03671	0,02157	0,01219	0,6761	0,03671	0,4034	0,02157
F1P	0,03671		0,02157	0,6761	0,6761	0,01219	0,1437	0,6761	0,09469	0,4034
F2B	0,5309	0,02157		0,03671	0,03671	0,01219		0,01219	0,4034	0,01219
F2P	0,03671	0,6761	0,03671		0,8345	0,01219	0,1437		0,0601	0,8345
F3B	0,02157	0,6761	0,03671	0,8345		0,01219	0,09469		0,09469	0,8345
F3P	0,01219	0,01219	0,01219	0,01219	0,01219		0,01219	0,01219	0,01219	0,01219
F4B	0,6761	0,1437		0,1437	0,09469	0,01219		0,0601		0,0601
F4P	0,03671	0,6761	0,01219			0,01219	0,0601		0,0601	0,8345
F5B	0,4034	0,09469	0,4034	0,0601	0,09469	0,01219		0,0601		0,03671
F5P	0,02157	0,4034	0,01219	0,8345	0,8345	0,01219	0,0601	0,8345	0,03671	
F6B	0,03671	0,5309	0,03671	0,2963	0,4034	0,01219	0,2101	0,4034	0,2101	0,2963
F6P	0,01219	0,1732	0,01219	0,5309	0,4633	0,09469	0,03671	0,2101	0,02157	0,6761

F7B	0,09469	0,2963	0,03671	0,2101	0,2963	0,01219	0,2101	0,09469	0,4034	0,1437
F7P	0,01219	0,09469	0,01219	0,2101	0,2101	0,03671	0,03671	0,1437	0,01219	0,09469
F8B		0,01219	0,4034	0,03671	0,01219	0,01219	0,6761	0,01219	0,2963	0,01219
F8P	0,02157	0,5309	0,01219			0,01219	0,09469	0,6761	0,03671	0,8345
F9B	0,02157	0,6761	0,03671	0,7533		0,01219	0,1437		0,09469	
F9P	0,01219	0,1437	0,01219	0,2963	0,2101	0,0601	0,03671	0,1437	0,01219	0,2101

	F6B	F6P	F7B	F7P	F8B	F8P	F9B	F9P
F1B	0,03671	0,01219	0,09469	0,01219		0,02157	0,02157	0,01219
F1P	0,5309	0,1732	0,2963	0,09469	0,01219	0,5309	0,6761	0,1437
F2B	0,03671	0,01219	0,03671	0,01219	0,4034	0,01219	0,03671	0,01219
F2P	0,2963	0,5309	0,2101	0,2101	0,03671		0,7533	0,2963
F3B	0,4034	0,4633	0,2963	0,2101	0,01219			0,2101
F3P	0,01219	0,09469	0,01219	0,03671	0,01219	0,01219	0,01219	0,0601
F4B	0,2101	0,03671	0,2101	0,03671	0,6761	0,09469	0,1437	0,03671
F4P	0,4034	0,2101	0,09469	0,1437	0,01219	0,6761		0,1437

F5B	0,2101	0,02157	0,4034	0,01219	0,2963	0,03671	0,09469	0,01219
F5P	0,2963	0,6761	0,1437	0,09469	0,01219	0,8345		0,2101
F6B		0,1437	0,6761	0,03671	0,02157	0,2963	0,2963	0,0601
F6P	0,1437		0,03671	0,8345	0,01219	0,4034	0,4034	
F7B	0,6761	0,03671		0,02157	0,01219	0,0601	0,2101	0,02157
F7P	0,03671	0,8345	0,02157		0,01219	0,1437	0,2101	
F8B	0,02157	0,01219	0,01219	0,01219		0,01219	0,01219	0,01219
F8P	0,2963	0,4034	0,0601	0,1437	0,01219			0,2101
F9B	0,2963	0,4034	0,2101	0,2101	0,01219			0,2101
F9P	0,0601		0,02157		0,01219	0,2101	0,2101	