

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Acreditación Institucional de Alta Calidad

Relación de Comunidades de Hongos Formadores de Micorrizas Arbúsculares con Diferentes Coberturas Vegetales de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá.

Pablo Emilio Chavez Rojas

Facultad de Ciencias y Educación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Nota del Autor

Este trabajo fue realizado en los Bosques Orientales de la ciudad de Bogotá como parte de una propuesta de Innovación Investigación, con la tutoría del profesor Fabio Lopez, como requisito para el título de licenciado en biología

Bogotá, agosto 2020

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Fabio López Botia por la dirección del trabajo de investigación, por brindar sus conocimientos durante el proceso práctico. A Julián Cuellar y José Juez por dar su tiempo, energía y, casi, su vida en búsqueda del conocimiento en los misteriosos y peligrosos Cerros Orientales. A Yeimmy Prada por darme su cariño, apoyo y por ser la compañera que estuvo a mi lado. A mi familia, Patricia, German y Silvana, por darme las condiciones materiales y ayudarme en todo lo que necesitara. A los compañeros del colectivo Defensores de los Cerros por generarme motivación en diferentes momentos. Finalmente, a la comunidad del camino de Monserrate por darme la oportunidad de conocer su territorio.

Contenido

1. Resumen 6

2. Conceptos claves 7

3. Abstract 8

4. Key words 9

5. Introducción 9

5.1 Planteamiento del Problema 10

6. Objetivos 11

6.1 Objetivo General 11

6.1.1 Objetivos Específicos 12

7. **Marco Teórico 12**

7.1 Micorriza Arbúscular. 12

7.1.1 Evolución 12

7.1.2 Taxonomía 15

7.1.3 Fisiología 18

7.1.4 Comercio de Nutrientes 18

7.2 Micorrizas y Relaciones Ecológicas 25

7.2.1 Cerros Orientales 27

7.2.4 Con Respecto a las Características Físicas de Suelo 34

7.2.5 Cambios por Perturbación 34

7.2.6 Cambios por Altitud con Respecto a Esporas 35

7.2.7 Cambios de cobertura vegetal 38

7.2.8 Colonización 39

7.3 Diversidad 42

7.3.1 Tipos de diversidad 45

7.4 Especies y Géneros Encontrados 47

8. Metodología 51

8.1 Zona de estudio 51

8.2 Fases de investigación 53

8.2.1 Fase de campo 54

8.2.2 Fase de laboratorio 55

9. Resultados 61

9.1 Características físicas del suelo 61

9.2 Cantidad de esporas por altura 62

9.3 Colonización 64

9.4 Diversidad 67

9.5 Especies encontradas. 71

10. Discusión 74

10.1 La altura y Cantidad de Esporas. 74

10.1.1 Cobertura Vegetal y Cantidad de Esporas 77

10.3 Colonización 78

10.4 Diversidad 80

10.5 Especies encontradas 81

11. Conclusiones 85

12. Recomendaciones 87

13. Referencias 89

Relación de Comunidades de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares con Diferentes Coberturas Vegetales de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá.

1. Resumen

Los sucesos producidos en el último siglo con respecto a la degradación de las condiciones de vida del ser humado, producto de su relación en consumo y producción con la naturaleza, han socavado los ecosistemas a nivel mundial. Los suelos no son ajenos a estas trasformaciones, cotidianamente se degrada millones de hectáreas de las tierras utilizadas para la agricultura por diferentes factores teniendo un costo elevado para la alimentación del ser humano. Con este contexto, los Cerros Orientales mantienen la tendencia de degradación de los suelos, la historia de cambios ecológicos tiene una relación con los cambios de producción y consumo que suceden dentro del paisaje de Bogotá. Esta investigación, por ende, busca encontrar las relaciones que determinan el comportamiento de los Hongos Formadores de Micorrizas Arbúsculares (HFMA) ante diferentes variables pertenecientes a un sector de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá que permita identificar las diferencias entre comunidades de hongos. Para ello, se realizó una fase de campo como de laboratorio. En la Fase de campo, se recolecto muestras de suelo y de raíces de plantas nativas. En la fase de laboratorio se realizó conteo de esporas, determinación de las características físicas del suelo, determinación de porcentajes de colonización, identificación de especies y análisis de los tipos de diversidad (Alpha, Beta y

Gamma). La variable que determino la cantidad de esporas fue el cambio de altura, más no el tipo de cobertura vegetal, lo que puede deberse a la limitante de nutrientes con respecto al gradiente altitudinal. Los porcentajes de colonización tuvieron un comportamiento distinto, donde lo que determino el cambio fue el tipo de hospedero, más que la altura en que se encuentra, aunque en intensidad de colonización si se relacionó con la altura. Existe una relación entre aumento de diversidad de (HFMA) con respecto al aumento de la diversidad de plantas hospederas, la diversidad de los hongos no estuvo determinada por la altura. Acaulosporaceae, Glomeraceae y Gigasporaceae fueron las familias que más dominaron en el área de investigación. Acaulosporaceae fue la familia que más individuos presento, con dos géneros *Acualospora* y *Claroideoglomus*. La variable que determinan el comportamiento de esporulación de (HFMA) es el cambio de la atura que afecta en la solubilidad de lo nutriciones del suelo. Los grupos taxonómico que son más resistentes a las perturbaciones son los que va a tener una dominancia en el paisaje. Mientras, que lo que determina la diversidad y porcentaje de colonización es el tipo de cobertura vegetal, en este caso el bosque Nativo. La importancia de este estudio radica en determinar el comportamiento de las micorrizas para futuros proyectos de restauración del bosque Nativo como forma de incrementar la resiliencia de los Cerros Orientales.

2. **Conceptos claves**:

   Micorrizas Arbúsculares, Diversidad, Cerros Orientales, Suelo

3. Abstract

The events that occurred in the last century with respect to the degradation of the living conditions of human beings, a product of their relationship in consumption and production with nature, have undermined ecosystems worldwide. Soils are not alien to these transformations, millions of hectares of land used for agriculture are daily degraded by different factors, having a high cost for human food. With this context, the Cerros Orientales maintain the trend of soil degradation, the history of ecological changes is related to the changes in production and consumption that occur within the landscape of Bogotá. This research, therefore, seeks to find the relationships that determine the behavior of the Arbuscular Mycorrhizal Fungi (HFMA) in the face of different variables belonging to a sector of the Protective Forest Reserve Bosque Oriental de Bogotá that allows identifying the differences between fungal communities. For this, a field and laboratory phase was carried out. In the field phase, soil and root samples of native plants were collected. In the laboratory phase, spore counting, determination of the physical characteristics of the soil, determination of colonization percentages, species identification and analysis of the types of diversity (Alpha, Beta and Gamma) were performed. The variable that determined the amount of spores was the change in height, but not the type of plant cover, which may be due to the limitation of nutrients with respect to the altitudinal gradient. The colonization percentages had a different behavior, where what determined the change was the type of host, rather than the height at which it was found, although the intensity of colonization was related to the height. There is a relationship between increased diversity of (HFMA) with respect to

increased diversity of host plants, the diversity of fungi was not determined by height. Acaulosporaceae, Glomeraceae and Gigasporaceae were the families that most dominated in the research area. Acaulosporaceae was the family with the most individuals, with two genera Acualospora and Claroideoglomus. The variable that determines the sporulation behavior of (HFMA) is the change in height that affects the solubility of the nutrients in the soil. The taxonomic groups that are more resistant to disturbances are those that will have a dominance in the landscape. Meanwhile, what determines the diversity and percentage of colonization is the type of vegetation cover, in this case the Native forest. The importance of this study lies in determining the behavior of mycorrhizae for future restoration projects of the Native forest as a way to increase the resilience of the Cerros Orientales.

4. **Key words**:

Arbuscular Mycorrhizae, Diversity, Cerros Orientales, Soil

5. Introducción

Cuando observamos los últimos estudios que ha realizado sobre la incidencia de la red de micorrizas en la productividad sobre los cultivos; Se encuentra muy pocos estudios serios sobre las problemáticas en Colombia, referente al entendimiento de las problemáticas que envuelven

esta simbiosis y como está se relaciona con las condiciones ambientales de su medio. Por lo cual se propone aportar en el entendimiento sobre la incidencia que realiza las micorrizas comparando los beneficios que se adquieren en cultivos con la variedad y biodiversidad especies circundantes.

La importancia de estas relaciones la encontramos en la ubicuidad de esta. La podemos encontrar en el 80 a 92 % de plantas terrestres. Esta relación va a demostrar la coe-evolución para la adopción durante millones de años como también la capacidad de diversidad de los elementos de la simbiosis (Wang & Qiu, 2006).

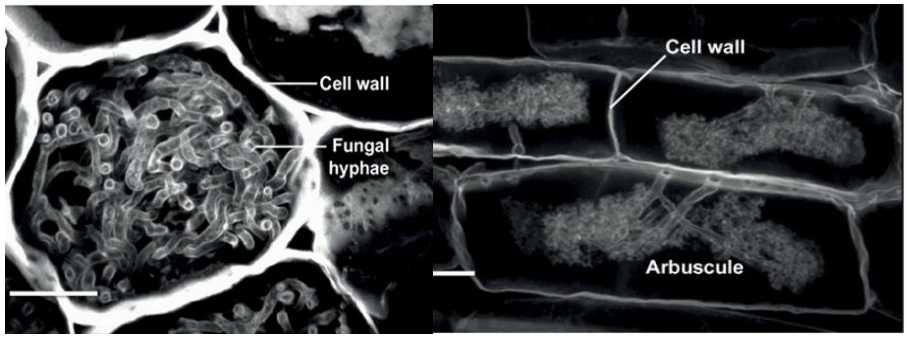


Figura A. (van der Heijden, Martin, Selosse , & Sanders, 2015)
podemos encontrar imágenes de la colonización y forma de los arbusculos.

5.1 Planteamiento del Problema

¿Qué variables determinan el comportamiento de comunidades de Hongos Formadores de Micorrizas Arbúsculares con el paisaje de los Cerros Orientales de Bogotá?

Se propone, en un primer momento, que si aumenta la altura va a aumentar la cantidad de esporas porque hay una disminución de los suministros de nutrientes, Esto por condiciones del

suelo encontrado en antecedentes donde a mayor altura menor compactación del suelo y por ende mayor cantidad de esporas.

Ante estas características de comportamiento de HFMA, se propone que los resultados van a ser muy parecidos con los resultados planteados por las esporas, hay una relación proporcional entre la esporulación y lo resultados de colonización. El aumento de la atura va a incrementar los porcentajes de colonización.

Cuando se observa la diversidad, se propone que cuando hay mayor diversidad de plantas aumenta la diversidad de especies de hongos. Esto generara que en la identificación de especies no va a existir una diferenciación significativa en el cambio de especies por la ubicuidad y poca especificidad que encontramos en HFMA.

6. Objetivos

6.1 Objetivo General

Establecer la comparación entre diferentes factores biótico y abióticos con comunidades de Hongos Formadores de Micorrizas Arbúsculares (HFMA) en un paisaje de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá sobre la presencia de

6.1.1 Objetivos Específicos

- Determinar la presencia de esporas de hongos micorrízico arbúsculares, en suelos de diferentes coberturas vegetales la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá.
- Cuantificar el grado de colonización por hongos micorrízico arbúsculares en raíces de diferentes especies vegetales del bosque alto andino, cerros orientales de Bogotá.
- Determinar la diversidad en comunidades de HFMA en el paisaje.
- Identificar los grupos taxonómicos de HFMA en ante diferentes cambios de altitudinales como de cobertura vegetal.

7. Marco Teórico

7.1 Micorriza Arbúscular.

7.1.1 Evolución

Para comenzar, es necesario dejar claro que cuando nos referimos al concepto *Micorriza* nos referimos a las diferentes relaciones e interacciones que suceden en un momento y lugar determinado entre un grupo específico de hongos con otro grupo específico de plantas. Esta relación es mediada por diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas las cuales cumplen

funciones fisiologías importantes en estos grupos, las cuales van a jugar una importancia fundamental en el comportamiento de esta simbiosis en el ecosistema. Por lo tanto, la *Micorriza*, es generada por una variedad de hongos los cuales no corresponden a un grupo mono filetico, sino que comprende diferentes estrategias evolutivas y adaptativas a los cambios del ecosistema en las diferentes conformaciones y agregaciones de los suelos. Dentro de las *Micorrizas* encontramos diferentes formar y métodos de adaptaciones, ampliamente estudiando, como son: Ericoides, Ectomicorrizas, etc. En este trabajo nos enfocaremos en una forma adaptativa de hongo llamada Micorriza Arbuscular, que como su nombre lo indica (DE PRAGER, 2007)

Existe una diferencia en los tipos y conformaciones de las micorrizas donde los hongos generadores de estas relaciones tienen orígenes evolutivos distintos. Las más antiguas van a ser los HFMA (Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares), como se define en esta investigación el grupo de hongos estudio, este tipo de micorriza va a ser la única relación que va a tener un mismo origen monofilético, remontándose aproximadamente 469 millones de años. En EM (Ecto-micorrizas) hace 100 millones y las Micorrizas Ericoides 80 millones de años (van der Heijden, Martin, Selosse , & Sanders, 2015).

Las relaciones micorrizógenas Arbusculares tienen un origen evolutivo ligado, estrechamente, a un proceso co-evolutivo de adaptación de las plantas al medio terrestre. Diferentes estudios van a demostrar, por medio del descubrimiento de fósiles de colonización, fósiles de esporas y el seguimiento de grupos de genes co-relacionados, estas relaciones antiguas. Pero, la interpretación se ha dificultado por lo difícil de la preservación de estas estructuras fúngicas. Por ejemplo, la imposibilidad de identificar grupos taxonómicos al degradarse las paredes de las

esporas antes de su fosilización. Como ya se mencionó anteriormente, los HFMA tienen un origen aproximado de hace 400 millones de años en el periodo devónico, donde se especula que las presencias de hongos van a ser anteriores al desarrollo de plantas en la tierra en el periodo Ordovícico (Redecker, Kodner, & Graham, 2000). Estos estudios evolutivos van a concluir que el proceso de formación de las relaciones micorrizógenas se basan en diferentes orígenes evolutivos (Wilkinson, 2001). Son las adversidades que enfrentaron los primeros organismos en poblar la tierra lo que genero las condiciones para que se formara la relación planta-hongo, y con ella, dio lugar para la formación del suelo, un ambiente propicio para la dispersión de la vida terrestre. (Villegas Ríos & Cifuentes, 2004). Esta transformación tuvo repercusiones para la evolución de la vida terrestre por parte de la biota presente. Strullu Derrien, Selosse, Kenrick, & Martin, (2018) presentan los cambios que trasformaron a la atmósfera terrestre con respecto al desarrollo evolutivo de las plantas, como se relaciona con las pruebas genómicas y paleontológicas que demuestra la importancia que tuvo el desarrollo de las micorrizas arbuculares para las condiciones de vida actuales.

Las evidencias que encontramos, además de las evidencias fósiles, las podemos encontrar en las relaciones que existen actualmente. En todos los grupos evolutivos de las plantas vamos a encontrar relaciones con hongos. En los Briófitos, al no tener raíces verdaderas, el nombre de sus relaciones mutualistas tiene el nombre de Paramicorrizas. En Pteriofitos y Angiosperma se encuentra extendido las relaciones micorrizógegas y todas ellas de tipo arbuscular . La poca variabilidad en los tipos de hongos como la poca especificidad en las relaciones concluye que fueron las plantas quienes desarrollaron la selección (Villegas Ríos & Cifuentes, 2004).

Existe un debate sobre el origen evolutivo de las micorrizas Arbuculares, pueden venir de hongos saprófitos o de biotrofos que parasitan a las plantas. (van der Heijden, Martin, Selosse , & Sanders, 2015). Este debate co-evolutivo se basa en las interacciones entre las señalizaciones y el desarrollo de transportadores de membranas específicos. Las diferentes funciones genómicas para: la señalización de la colonización, regulación del proceso y formación de arbúsculos hace parte las investigaciones para resolver el origen evolutivo. (Vigneron, Delaux, & Radhakrishnan, 2018).

7.1.2 Taxonomía

El estudio taxonómico de los HFMA se encuentra con la ambigüedad en la definición de especie y organismo que no ha tenido un claro consenso en este grupo taxonómico. El acuerdo, hasta el momento, donde se define las características de los HFMA son: forman simbiosis Mutualista ubicua, es un biótrofo obligado, tiene un origen monofilético, su reproducción es solo asexual y sus células presentan heterocariosis (Bécard & Pfeffer , 1993) (Taylor, Hann-Soden, Branco, & Sylvain, 2015). Estas caratersiticas estarían siendo debatidos por los últimos estudios dando un amplio marco de investigaciones en este grupo. Es justo este debate taxonómico por el cual los HFMA ofrecen un interesante campo para la investigación sobre el concepto de la definición y delimitación de lo que podemos denominar un organismo.

Es importante mirar sus como la historia del entendimiento de este tipo de relaciones ha cambiado en el tiempo. La clasificación taxonómica ha tenido diferentes cambios que están relacionados al desarrollo de diferentes métodos de investigación. Los primeros reconocimientos y categorizaciones de hongos micorrízicos se puede encontrar a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX con Albert Bernard Frank (1839–1900), Franz Kamienski (1851–1912) y Giuseppe Gibelli (1831–1898) entre otros (Bonfante, 2018). En un primer momento, fue agrupado con el género *Endogone* , familia *Endogonaceae* reconocida en el Phylum (Zygomycota) (Salmeròn Santiago, Pedraza Santos, Mendoza Oviedo, & Chàvez Bàrcenas, 2015). Las características por las que se tomó la decisión de estar en este grupo fue por la conformación de sus esporas con su parecido en la forma de reproducción (Schubler, Schwarzott, & Walker, 2001). La relación que encontramos en este taxón corresponde con la morfología de las espora la cual se interpretó como "*zygospores*" con características sexuales (Rosendahl , 2008) (Salmerón, 2015). Desde el año de 1974 se empieza a reconocer la diferenciación de estructuras de micorrizas, entre ellas la endomicorriza formadora de arbusculos. (Salmeròn, 2015) .

Con el desarrollo taxonómico de diferentes formas de investigación genómica la clasificación de este grupo de hongos cambia con respecto a los resultados mofológicos. Poco a poco, el simbionte fúngico fue desplazado de género, familia, orden hasta llegar a estar conformada como Phylum Glomeromycota (Schubler, 2001).Estos resultados respondieron a secuenciación de genes de la subunidad pequeña del r-ADN de diferentes especies de HMA formando un grupo monofiletico (Schubler, 2001) (Rosendahl , 2008). En la actualidad encontramos un amplio debate sobre el grupo al que pertenece la simbionte monofilética.

Glomeromycota ha sido un enigma filogenético porque carece de cualquier forma conocida de reproducción sexual. Las hipótesis morfológicas colocaron a Glomeromycota entre los zigomicetos (Gerdemann y Trappe 1974, Mortin y Benny 1990), mientras que las filogenias basadas en el ADN r colocaron a este filo como sitio de Dikarya (SchûBler et al. 2001). Las filogenias mitocondriales (Nadimi et al. 2012, Pelin et al. 2012) colocaron a Glomeromycota como hermana de Mortierellomycotina, que está respaldada por algunas, pero no todas las filogenias de genomascala. *(Tissetant et al. 2013, Chang et al. 2015)."* (Spatafora, Chang, Benny, Lazarus, & Smith, 2016).

Esta investigación se basa en las conclusiones de la última clasificación general de hongos(Tedersoo, Sànchez Ramirez, Kõljalg, Bahram, & Döring, 2018). En el cual, se encuentra un análisis sobre la clasificación más actualizada de hongos. En esta investigación, y por lo tanto la posición tomada en este trabajo, se argumenta manera la profunda divergencia dentro de mucoromyceta. Estos grupos, Mucoromycotina, tiene una relación muy cercana pues comparten un mismo origen evolutivo con glomericota pero se diferencia en su desarrollo ecológico es más amplio, esto quiere decir que desarrollan sapotrofia, endomicorrizas y finalmente ectomicorrizas. (Strullu Derrien, Selosse, Kenrick, & Martin, 2018)

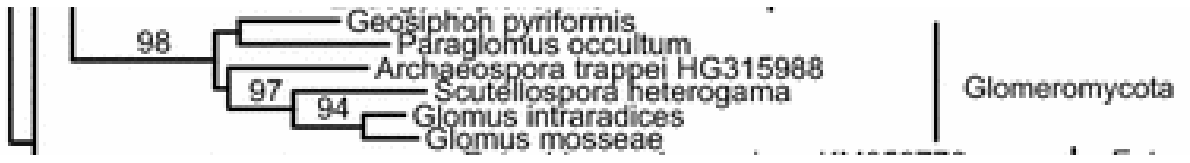


Figura B. Clasificación de Glomeromycota, según la última clasificación de hongos. (Strullu Derrien, Selosse, Kenrick, & Martin, 2018)

7.1.3 Fisiología

Los HMA son organismos biotróficos obligados que no pueden completar su ciclo de vida sin desarrollar procesos de colonización que le permitan finalizar su ciclo reproductivo. Para determinar la relación específica que encontramos entre las platas y hongos micorrisógenos arbusculares es necesario mirar su fisiología, procesos bioquímicos que generan un metabolismo. Para ello, diferenciamos diferentes etapas en el proceso de formación de esta. Según Camarena Gutiérrez (2012) se pueden clasificar en dos, proceso inicial de colonización y desarrollo arbúscular.

El H_2O_2 y otras especies reactivas de oxígeno están involucradas en la cascada de transducción de señales en las interacciones planta-patógeno. Por tanto, es posible que la degradación de H_2O_2 por la catalasa en la micorriza arbúscular sea el mecanismo para evadir la activación de los genes de respuesta de defensa (Van Camp, Van Montagu, & Inzé, 1998).

Los arbúsculos tienen un periodo de vida corto, mientras que las hifas y las vesículas pueden permanecer por meses o años. Las vesículas son estructuras de almacenamiento que contiene lípidos y citoplasma. La formación de vesículas inicia, seguida de la formación de los primeros arbúsculos, pero continua su desarrollo cuando el 85 arbúsculo esta en senescencia (Smith & Read, 2008). (LEÓN, 2015)

7.1.4 Comercio de Nutrientes

Diferentes nutrientes hacen parte en el intercambio de las micorrizas. Para esta simbiosis agrupamos determinados compuestas que cumplen una función determinada. Un primer grupo

los reconocemos por ser orgánicos mientras que el siguiente grupo como inorgánico, de elementos importantes como son el fosforo, azucares, agua, nitrógeno. Evidentemente existen otras moléculas que participan en el intercambio, pero solo nos enfocaremos en las anteriores moléculas por ser las más estudiadas para el crecimiento de las plantas.

Para entender la Micorriza Arbúscular es necesario entender la existencia de diferentes intercambiadores de membranas específicos que permiten la señalización. El lugar en donde sucede el intercambio se le conoce como zona perivascular. Es aquí donde ocurre el intercambio mediante el gradiente de concentración de las diferentes sustancias.

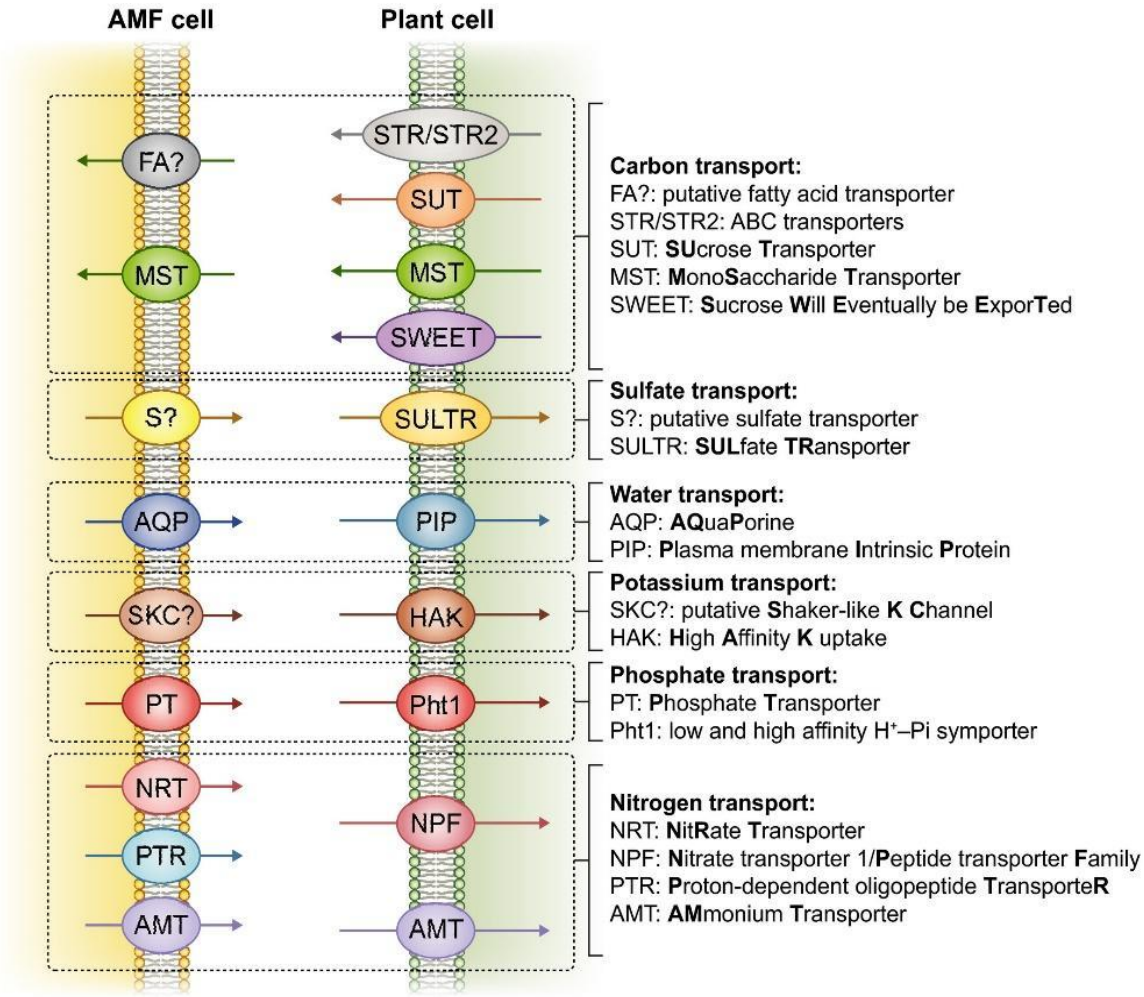


Figura C. Transportadores específicos de membranas en el arbúculos (Krajinski, Tuinen, Recorbet, & Courty, 2019).

7.1.4.1 Fósforo

En diferentes estudios se analiza macronutrientes orgánicos e inorgánicos que permiten la relación benefactora para el crecimiento de la planta. Uno de los principales es el fósforo, el cual, lo podemos encontrar en diferentes formas. en moléculas orgánicas o sales de fosfato. Es

altamente reactivo, no es posible encontrarlo en forma elemental en la naturaleza sino que se encuentra en diferentes compuestos como sales orgánicas e inorgánicas. Solo el 10 al 15% de P está disponible para las plantas. Esta solubilidad depende de diferentes factores y características del suelo que permiten la movilidad y absorción de dicho elemento, como lo la relación y metabolización de la comunidad microbiana , de la rizosfera, como el aumento o disminución del PH. Esta última característica cambia la movilidad del fósforo disponible para las plantas. Importarte para el objetivo de la investigación. (Johri, y otros, 2015)

Solo por medio de los ortofossfatos(Pi), este hidrolizado dentro del hongo, la planta puede adquirir el fósforo que permite sus procesos metabólicos. Esto lo puede desarrollar por medio de dos vías de absorción específica llamada "*mycorrhizal phosphate uptake"*(MPU)(Wipf, Krajinski, Tuinen, Recorbet, & Courty, 2019). Para ello, se necesita un intercambio activo en transportadores específicos para la relación micorrizógena. Estos transportadores adquieren el nombre de Pht 1, específico para el intercambio de fosfato inorgánicos desde la vía especifica MPU(figura C). Esto sucede mediante un intercambio en la zona perivascuslar, es el espacio entre el arbusculo del hongo y la membrana celular de la planta colonizada, el cual genera un medio que tiene un gradiente de concentración donde ocurre un intercambio entre protones y el fosfato orgánico (Pi) por un transporte activo, el fosfato debe ser transportado activamente contra el gradiente electroquímico porque es resultado de un proceso de despolarización de membrana de la planta para evitar que ocurra una hiperpolarizacion. Es necesario que exista un proceso activo a través de una bomba de extrusión de H + como la H + -ATPasa de tipo P que permite el proceso de intercambio de Pi, como lo muestra la (*Figura D*)(CORNELIA I, NOVACKY,

FISCHER, & LUTTGE, 1981). (Krajinski, y otros, 2014) (Johri, y otros, 2015). En determinados estudios se ha determinado, mediante la mutación de genes, en el caso el gen llamado (Ha1) que traduce Pht1 (Krajinski, y otros, 2014), que la planta no está condicionado el porcentaje de colonización con la cantidad de fosfato suministrados por el simbionte heterótrofo(Garcia , Doidy, Zimmermann, Wipf, & Courty, 2016).

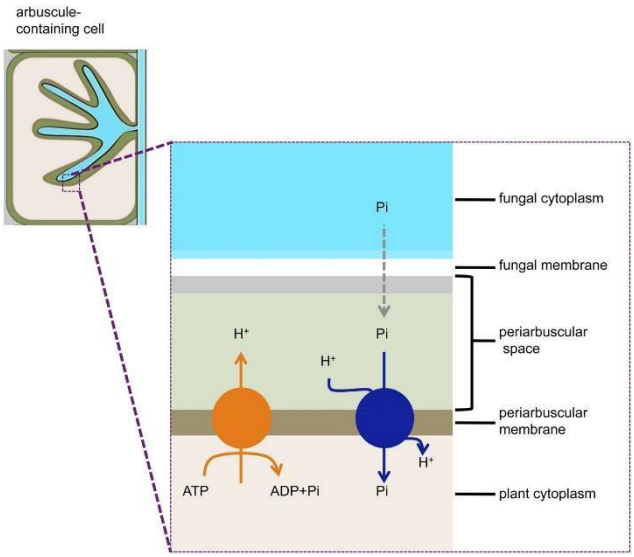


Figura D. Representación del transporte de fósforo (Krajinski, y otros, 2014). Encontramos de qué manera existe una relación en la membrana de la planta entre gradiente del protón y el fosfato inorgánico en la zona perivascular.

7.1.4.2 Nitrógeno

Las plantas pueden absorben nitrógeno en diferentes maneras. La distribución irregular de este elemento, como mineral, genera un factor limitante en los ecosistemas. Por lo tanto, es de gran importancia en las relaciones microbianas que van a fijar el nitrógeno para transportarlo a

las plantas. (Wipf, Krajinski, Tuinen, Recorbet, & Courty, 2019) (Courty, Smith, Koegel, Redecker, & Wipf, 2015). Este elemento lo podemos encontrar de manera orgánica y inorgánica. De manera inorgánica, lo encontramos como amonio (NH4 +), como también, al nitrato (NO3), este último, en la mayoría de plantas, tiene que ser reducido a nitrito (N02), luego a amoníaco (NH3) que será incorporado a los esqueletos carbonatados del metabolismo de los aminoácidos. Es por ello, que tiene un gasto de energía, y, por ende, no será la primera opción a elegir, un aspecto al recalcar es que tiene mayor movilidad. (Curtis, Barnes, Schnek, & Flores , 2000). Y, de manera orgánica se encuentra como aminoácidos y péptidos. Finalmente, se enuentra en forma libre por medio de iones de nitrógeno que pueden ser incorporados por las mismas plantas.

Los transportadores en las membranas de los simbiontes, de la zona perivascuslar, de este elemento tienen una conformación particular dependiendo a qué tipo de compuesto nitrogenado nos refiramos. El nitrato es absorbido por el grupo de proteínas trasportadoras de membrana que son encargadas del transporte nitratos y péptidos (NPF)(Figura D, c). En este grupo encontraremos un transportador específico para nitrato llamado (NRT), dependiente de energía, donde se evidencia una competencia entre los simbiontes por el nitrato en la interfaz. (Garcia , Doidy, Zimmermann, Wipf, & Courty, 2016). Para el intercambio del ion amonio encontramos una familia de proteínas de trasporte específica en la planta y el hongo que toma el nombre de (AMT), cada simbionte tiene una familia distinta de proteínas de membrana. Estos transportadores cumplen diferentes funciones, no solo de transporte, sino que también de señalización que permite el desarrollo de la germinación como de la colonización de las esporas

micorrizógenas. Dentro del hongo encontramos una diferenciación del (AMT) dependiendo del lugar al cual se ubica, o la función en la cual es comprometido.

Es muy importante este último punto pues establece una relación entre los principales componentes, nitrógeno, fósforo y carbono. Diferentes estudios van a comprobar que hay una relación dependiente entre estos, como lo podemos ver en la (*Figura D*), el aporte del carbono, específicamente de la sacarosa, va a incrementar la absorción de fuentes de N inorgánico y orgánico en la red de micorrizas (Fellbauma, y otros, 2012). Mientras que para P no hay una relación directa. Como se evidencio anteriormente.

7.1.4.3 Carbono

El metabolismo del azúcar ha sido la principal fuente de estudios para el intercambio de carbono para el hongo, y también como promotor de colonización, se consideró como la razón de ser de la simbionte. Las hexosas, como pueden ser la glucosa o la fructosa, pueden ser absorbidos solamente en las zonas intra-hifales, ósea en los arbúsculos, diferente que en las zonas extra-hifales donde no se encontró proceso de absorción, la glucosa es la principal forma de carbono que se transfiere por la micorriza. Un ejemplo, es como la Arginina, representado en la (*Figura E*)(Lahmidi, y otros, 2016). Esto denota un proceso de función de crecimiento en estas partes del hongo, algo así como un motor de energía. En las células del hongo se encuentra un metabolismo diferenciado donde en las hifas extra-radicales van a estar desarrollando un anabolismo de la glucosa, una diferencia entre las hifas intra-radicales donde las necesidades de estas zonas cambian y por lo tanto de la necesidad de carbono (Wipf, Krajinski, Tuinen,

Recorbet, & Courty, 2019). Otra forma de transporte de carbono es por medio de ácidos grasos. Los lípidos van a ser otra de las razones por las cuales HFMA forman una biotrofia obligada. Es causado porque no pueden sintetizar FA *de novo,* a partir de carbohidratos, en consecuencia, este hongo es una auxotrófia de ácido graso. Los lípidos representan el principal compuesto del almacenamiento de simbionte fúngico y la encontramos en una gran cantidad en un primer ciclo de su vida, esporas y tubos germinativos pre-simbióticos. Se demuestra, en diferentes estudios, que la presencia o carencia de los ácidos grasos van a estar determinados por la presencia de Pi(Wipf, Krajinski, Tuinen, Recorbet, & Courty, 2019).

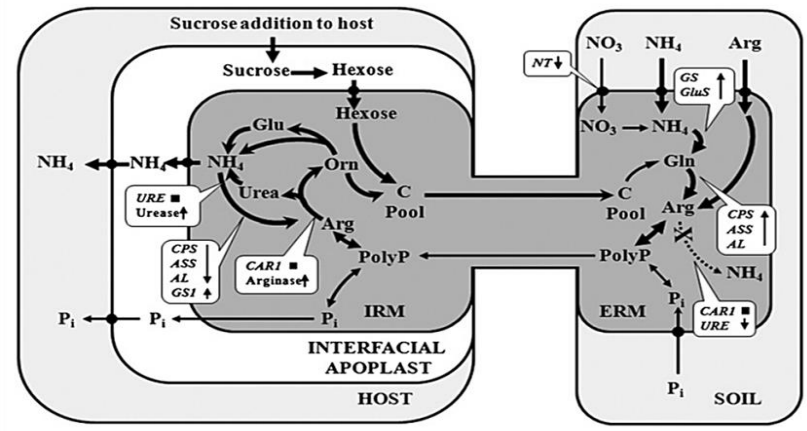


Figura E. (Fellbauma, y otros, 2012). Encontramos el proceso por el cual la Arginia se transporta y esta es afectada por el intercambio de carbono.

7.2 Micorrizas y Relaciones Ecológicas

Para comprender el comportamiento de los HFMA es necesario entender el medio en el cual están ubicados y tiene desarrollo su ciclo vital. El ambiente donde vive este organismo es el Suelo. El suelo ha tenido diferentes caracterizaciones, en un discurso científico. Desde una visión meramente funcionalista, de almacenamiento, hasta aumentarle diferentes factores que tienen

interacción entre sí, donde el ser humano entra a jugar un papel fundamental en la transformación del mismo, formado *Epipedones* antrópicos o un perfil cultural. Se ha llegado al acuerdo que el suelo es un sistema viviente, este permite comprender la interrelación de diferentes propiedades químicas, biológicas y físicas en momentos determinados. En esta investigación se concibe como un sistema abierto que comprende un cuerpo que tiene entrada y salida de energía. Tiene un nacimiento, un metabolismo de ciclaje de diferentes nutrientes, una estructura hecha a partir de *Agregados* y una muerte por el desequilibrio producido por diferentes factores bióticos y abióticos (DE PRAGER, 2007).

La problemática que enfrentamos en el suelo tiene que ver con dos características que se resumen en el crecimiento poblacional y el tipo de desarrollo económico. Dentro de estas dos problemáticas diez amenazas que afectan los suelos a nivel mundial: erosión del suelo, pérdida del COS, desequilibrio de nutrientes, acidificación del suelo, contaminación del suelo, anegamiento, compactación del suelo, sellado del suelo, salinización y pérdida de la biodiversidad del suelo(FAO, 2015). El 37,7%, que representa 4.900 millones de hectáreas, son consideradas superficie agrícola útil. Alrededor de un tercio, 448 millones ya están degradados (Engel, 2014). En conclusión, los suelos a nivel mundial tienen una tendencia a tener un suelo pobre en deterioración afectados por la relación que el sistema económico imperante ha desarrollado.

7.2.1Cerros Orientales

Localizado en la cordillera oriental, los Cerros Orientales se conoce al sistema montañoso que comprende la reserva forestal protectora bosque oriental de Bogotá, esta denominación se basa en cuatro razones: Conservación, rehabilitación ecológica, recuperación paisajística y recuperación ambiental. Comprende un área de 13.142,11 hectáreas, su altura está determinada entre 2650 a 3600 msnm (Intituto Geográfico Agustin Codazi, 1995). Su red hidrográfica perteneciente a la cuenca del río Bogotá, comprende las subcuencas de los ríos Juan Amarillo, San Francisco y San Cristóbal en el flanco oriental y la subcuenca del río Teusacá en el flanco occidental. Su regimen de lluvias es binomial, donde los meses de abril y noviembre es donde mayor precipitación se presenta con respeto al resto del año, con una precipitación anual de 1010-1050 mm (CAR, 2016). En los Cerros Orientales encontramos diferentes ecosistemas que lo componen. Bosque bajo andino, Bosque alto andino, subapramo y paramo, como lo representa la (*Figura E*) (Alcaldia Mayor de Bogotá, 2007) (Isaza Londoño, 2007). El bosque bajo andino se encuentra en alturas de 2550 a 2750 msnm, y se caracteriza por la presencia de alisos y cedros. El bosque alto Andino se encuentra en alturas de 2750 a 3000 msnm, Los robledales y los bosques de niebla, los raques, encenillos y tibar. El ecosistema del sub-páramo comprende alturas entre 3000 a 3300 msnm. Este se caracteriza por tener una vegetación enana, que resiste muy bien los vientos fuertes. Y finalmente, ecosistema de páramo que se encuentra de 3300 a 3600 msnm (CAR, 2009).

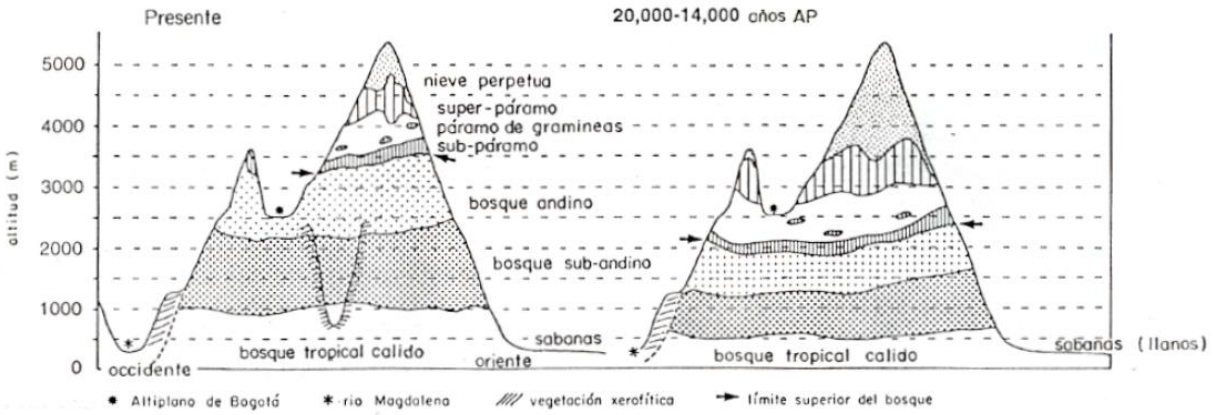


Figura E. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1995). Comparación del cambio en cuanto a los ecosistemas producidos por los movimientos geológicas de 20.000 a 14.000 años en la cordillera oriental.

La formación del suelo comprende diferentes procesos geológicos de plegamiento y movientos tectónicos que formó la estructura mofológica de los Cerros Orientales. La relación con las actuales formaciones ecológicascas se remontan al comienzo del periodo Cuaternario, durante el cual ocurrieron las glaciaciones que formaron el paisaje actual. La última formación tectónica tuvo lugar hace 3 millones de años dando forma a un gran lago , cuenca de bogota, que despues de secarse, 30.000 años, formo los sedimentos *Lacustres* característicos de la Sabana de Bogotá(Intituto Geográfico Agustin Codazzi, 1995). En la actualidad el tipo de suelo donde se desarrolló el estudio se caracteriza como Humífero con influencia de cenizas volcánicas, llamada "*Dystric Cryandept*", Encontramos un suelo con alta acidez y bajos niveles de nutrientes con una concentración baja de fósforo. Demostrando que, a una mayor altura, en comparación con los dos tipos de Bosque tratados, disminuye el PH y aumentan los requerimientos de fósforo (Coba de Gutiérrez & Jorge, 1995). En cuanto a la clasificación en suelos hidrológicos, nos encontramos con una baja capacidad de infiltración al estar húmedos. Se componen de suelos

arcillosos con un alto potencial expansivo y tiene alto potencial de escorrentía(CAR, 2016). Este sitio donde se realizó la investigación cumple características definidas, aunque tiene heterogeneidad químicas y físicas comparte una misma historia biogeográfica que lo integra en una sola estructura, lo que se conoce como Paisaje. Entonces, el paisaje es un área terrestre heterogéneo pero distinguible integrada por un conjunto de ecosistemas interconectados que se repiten de forma similar (Halffter & Moreno , 2005).

El paisaje que le corresponde a los Cerros Orientales esta determinada por las formas en que las comunidades de humanos se han comportado y transformado. En diferentes estudios se va a determinar que la trasformación de este paisaje se remonta a la época del Pleioseno los hallazgos de presencia humana demuestra los cambios en el comportamiento de nomadismo a sedentarismo (Urrego, 1990). Tanto asi, que se ha encontrado evidencia de especies, como el Mastodonte y el Cabayo Americano, que fueron exterminados por las comunidades recolectoras hace 12.000 años(Intituto Geográfico Agustin Codazzi, 1995). Este paisaje tuvo una importancia muy estrecha con el desarrollo cultural de la civilización Chibcha. La trasnformación del paisaje se relaciona con la contrucción de diferentes rituales, como el correr la tierra. Su organización política se baso en cacicazgos con dominio sobre determinadas regiones. En la Sabana de Bogotá habitaba y dominaba el Cacique de Bacatá, que vivía en el lugar que hoy conocemos como Funza (Isaza Londoño, 2007)(Moreno, 2015). Con la llegada de la conquista española diriguida por Gonzalo Jimenez de quesada en 1538 comienza una tranformación del territorio meidad por el control político y económico, los decretos que establece la siembra de Sauces y la

erradicación de plantas que eran consideradas sagradas para las comunidades Muiscas fue parte consciente de la tranformación del ecosistema(PULIDO, 2017). Con el crecimiento de las poblaciones, aproximadamente en los años de 1781 alrededor del río Bogotá, y desarrollo de la producción-consumo económico fue proporcional al incrementa de la traformación generalizada(Isaza Londoño, 2007)(PULIDO, 2017). La introducción de especies foráneas como forma de control territorial se refuerza durante toda la Colonia. Hasta llegar a finales del siglo XIX donde se intensifica la reforestación con plantas exóticas, sobretodo de *Eucalyptus globulus*. (PULIDO, 2017). Aunque ya empieza a encontrar un interes en sembrar bosques forestales con especies foránesas para recuperar el ecosistema, es a incios del siglo XX donde se encuentra completamente degradado (García Moreno & Guerrero Vargas, 2016). A finales del siglo XIX, en los Cerros se localizaban grandes haciendas, así como fábricas de loza, cerveza y pólvora. Estas útimas perturbaciones van a ser importantes para la confromación de las caractersiticas del suelo actual. Desde 1920 empieza a desarrollarse políticas en busca de la recuperación forestal, como la denominación de Reserva Forestal Protectora. (PULIDO, 2017) , mas no, con una visión de recuperación de los ecosistemas nativos, esto último daria pie para la introducción de mayores especies foráneas aumentando la problemática.

Despúes del marco histórico, los Cerros Orientales se enfrenta a diferentes problemáticas ambientales que afectan las condiciones materiales de las comuniades que habitan este territorio. Se pueden cosnideran un acumulado de perturbaciones ambientales como: perdida de caudales y la contaminación de nacederos, agricultrua y ganaderia semi-extensiva de ladera, suelos degradador a por la actividad minera, expansion urbana, incendios forestales, reducción del

hábitad para la fauna, destrucción de la memoria como de del modo cultural de comunidades rurales y el aumento de especies foraneas(CAR, 2016) (García, 2016) (Alcaldia Mayor de Bogotá, 2007).

Este última problemática ambiental, aumento de las especies foráneas, es imprtante para determinar como las coberturas vegetales tienen un factor determinante en el comportamiento de las comunidades de HFMA. Diferentes estudios van a demostrar como las especies foraneas van a ser un limitante en el desarrollo de la diversidad del Bosque Nativo, como lo demuestra Cavelier & Santos(1999). Demuetsra como, de las variables ambientales y biológicas medidas en este estudio, la acumulación de acículas bajo las plantaciones de *Pinus radiata* , C. lusitanica y la alta biomasa de raíces finas bajo la plantación de C. lusitanica, podrían ser los principales factores limitantes para el establecimiento de un número mayor de especies del bosque nativo. En resumen, las afectaciones de las especies foráneas pueden determinarse como: disminucióin de la biodiversidad, patógenos asociados a estas especies, impactos económicos y culturales(CAMELO, 2015). Un ejemplo, *Ulex europaeus* aumenta la amenaza de incendios debido a su follaje grasoso, altamente inflamable, además de la abundante necromasa depositada en la base de los matorrales conformados por ella misma. Debido a las diferentes características de la planta, el suelo es a menudo descubierto entre las plantas individuales de retamo, lo que aumenta la erosión en las laderas escarpadas, en las áreas donde ha sustituido a especies de gramíneas o herbáceas (UICN 2000; GIDB 2013).

7.2.3 Comportamiento con el Suelo

En el comportamiento de las relaciones ecológicas de las micorrizas con diferentes variantes que han sido estudiadas, se enfocan en los cambios en la abundancia, número de esporas y la riqueza de especies de HMFA. Pero estos cambios en las poblaciones de hongos pueden estar determinadas por la composición de coberturas vegetales, el tipo de perturbaciones, disturbios, del suelo, esto puede ser caract3erizado como cambios físicos, químicos y biológicos. y el tipo de clima. Los estudios de estos factores van a ser determinantes, o van a tener mayor relevancia en cada tipo de fenómeno, son fundamentales para entender el comportamiento.

Para el estudio de los HFMA se utilizó el concepto de comunidad. Esta entendida como unidad estructural donde diferentes poblaciones, entiéndase esta como el conjunto de individuos de una misma especies que interactúan entre sí, en un espacio determinado, con sus características químicas y físicas (Halffter & Moreno , 2005).

El comportamiento ecológico lo podemos entender de dos maneras, una interna y la otra de manera externa. En la primera manera podemos comprender, y que es la determinante para el desarrollo ecológico en las características que van a determinar el comportamiento de la comunidad fúngica. Este comportamiento está determinado por el tamaño del micelio, la tasa de esporulación, la cicatrización hifal y el proceso de anastomosis. (van der Heyde,2017). La interacción dentro de la comunidad fúngica por medio de competencias entre especies de hongos a la hora de la colonización es un factor de cambio a la comunidad y se plantea como un impulso importante para la estructura de la comunidad(Werner & Kiers, 2014).

En los factores internos también dependen el tipo de relación que se establezca con las plantas. Las plantas han evolucionado para tener diferentes relaciones co-evolutivas con los hongos, que les permites adaptarse a los cambios del suelo. De acuerdo con Tiburcio et al. (2010), Stahl en 1900 dividió las plantas como no micótrofas (nunca forman micorriza), micótrofas facultativas (sobreviven con o sin la simbiosis) y micótrofas obligadas (necesitan de la asociación para sobrevivir) (Tiburcio, Tomio, & Costa Maia, 2010). (LEÓN, 2015)

En los factores externos podemos encontrar aspectos como: cambios estacionales y temporales, adaptación local , efectividad del huésped y factores ambientales como: tipos de suelos, manejo de suelos y concentración de nutrientes. Estos factores van a ser los que determinen cambios en las comunidades de HFMA (Werner & Kiers, 2014). El comportamiento que observamos a los cambios rápidos de del suelo, llamados perturbación, tiene una relación con el tipo de ciclo de vida. Esto quiere decir, que, dependiendo la forma de su reproducción, propagación, características fisiólogógicas y morfológicas va a depender la forma con que se comporte con el tipo de cobertura vegetal, perturbación o tipo de suelo y con sus características químicas y físicas (van der Heyde, Ohsowski, Abbott, & Hart, 2017). Se parte de diferentes estudios que nos permiten detallar los cambios rápidos del suelo y la manera en que los HFMA se comportan por medio de diferentes características.

Los HFMA por su ubicuidad son nativos en todos los suelos tropicales y en la mayoría de ecosistemas (LEÓN, 2015). Puede la especificidad de la pareja puede ocurrir no solo mediante especies, sino que podemos encontrar ante diferentes niveles. Es decir, se puede relacionar por

medio de grupos ecológicos, generalistas versus especialistas, o por medio de diferentes tipos de ecosistemas. (Vályi, Rillig, & Hempel, 2015)

7.2.4 Con respecto a las características físicas de suelo

Según Wayner & Medina(1998), el grado de comparación va a determinar el grado de propagación del hongo. Esto se debe a que menor compactación representa mayor cantidad de espacios porosos por donde puede circular gases, aguas y lixiviados de las platas, como también, permite una mayor facilidad para que las hifas puede transportarse (López Botía & Peña, 2018).

En diferentes estudios se determinó que solo la materia orgánica y la compactación presentan diferencias significativas. Un aspecto particular que no se encuentra en otros estudios es el caso de la temperatura del suelo. Donde se establece que el aumenta de esta va a determinar una relación positiva en el número de esporas según wild(1992), la actividad metabólica de los organismos aumenta a medida que la temperatura se eleva, por lo que favorece el desarrollo de los HFMA y en general de la microbiota del suelo (López Botía & Peña, 2018).Los estudios que existen alrededor del comportamiento explican modelos de co-adaptación cuando hay factores limitantes en los suelos (Monroy Ata & Yadira Ramírez, 2018).

7.2.5 Cambios por perturbación

Se entiende una perturbación como un evento externo que provoca un cambio rápido y anormal en la estructura de la comunidad de HFMA en el suelo. Se comprende en la mayoría de

los casos los agentes perturbadores como la disrupción del micelio, inhibición química y eliminación del huésped (van der Heyde,2017). Cabe aclarar que el desarrollo de esta investigación no va a tener en cuenta variables de perturbación, pues, los cambios que encontrados en el suelo no van a ser determinados por agentes externos a las mismas características de suelo. En la asociación simbiótica en ecosistemas en donde naturalmente se producen abundantes poblaciones de esporas puede ser más resilientes a los disturbios que ecosistemas que típicamente no lo hacen (Johnson & Wedin). (LEÓN, 2015)

En las zonas de restauración, en los estados succiónales pioneros donde encontramos mayor cantidad de relaciones micorrizógenas. Esto, porque en las plántulas encontramos una mayor necesidad de establecer dicha relación para poder adaptarse al ecosistema (López Botía & Peña, 2018).

7.2.6 Cambios por altitud con respecto a esporas

El estudio de esporas, como propágulo, nos permite entender el nivel de adaptación en las diferentes habitad. Pues, es entendido que el estudio de HFMA es limitado por la falta de un cuerpo sólido para observar el comportamiento de los individuos. Relacionar la densidad y morfo tipo de las esporas es fundamental para entender su comportamiento con el tipo de ecosistema.

La variaciones que encontramos con respecto a los factores que afectan el comportamiento de la esporulación son: Climáticas, tipos de cobertura vegetal, entre ellas tipos de plantas como nivel de desarrollo de las plantas, características del suelo.

En diferentes estudios establecen que las características climáticas van a ser un factor determinante en la cantidad de esporas. El cambio en el comportamiento de las comunidades de hongos, si es la cobertura vegetal o los cambios características del suelo, en las diferentes perturbaciones son los cambios climáticos más que los cambios de manera de colonizar y comportarse de hongos micorrizógenos (DOERR, REDENTE, & REEVES , 1984). Concuerda con él es estudio, realizado en el mismo lugar, se determinó que las variables de cantidad de esporas como de colonización son inversamente proporcionales al aumento de la humedad por los regímenes de precipitación (Coba de Gutiérrez & Jorge, 1995). Estos resultados se relacionan con los resultados de estudios desarrollador en Monserrate donde obtuvieron que la comparación con respecto a la época climática se presentó mayor cantidad en épocas secas, existe la tendencia del hongo a propagarse en mayor proporción ante situaciones ambientales adversas (estrés hídrico) HFMA (García Romero, García Fernandéz, & Correa de Restrepo, 2004). En un segundo estudio va a determina que las características que principalmente determinaron el número de esporas fue las características climáticas, más que las propias del suelo o el paisaje(LEÓN, 2015). Estos estudios realizados en el mismo lugar de este estudio, refleja la función y capacidad de las esporas de resistir factores limitantes del suelo.

La cobertura vegetal va a ser un determinante en el comportamiento de las esporas. Se estudia que factor es más significativo en la esporulación de HFMA. Uno de los estudios encontró que a una mayor altitud disminuye la abundancia y riqueza de especies expresada en la cantidad de esporas por la relación estrecha que encontramos con la abundancia de plantas. En otras palabras, la abundancia de morfo tipos de HMFA se correlaciona con la abundancia de plantas, este punto

lo desarrollará más adelante. (Wu, Hogetsu, Isobe , & Ishii , 2007). Es entonces ,en el tipo de vegetación con respecto a la cantidad de esporas donde se encuentra en diferentes estudios con que mayor cantidad de esporas en habitad de denudación a diferencia de la llanuras fluviales(LEÓN, 2015).

En procesos sucesionales, como veremos más adelante, la etapa de desarrollo de los huéspedes va a ser determinante para las condiciones favorables de esporulación. Un estudio desarrollado en la región de páramo de Monserrate diferentes estados de desarrollo de las plantas huésped encontramos mayor cantidad de esporas en desarrollos tempranos. Además, la mayor cantidad de esporas que se encontró, también, tiene una relación con la iniciación de procesos de sucesión, sino que también, en procesos de consolidación de los procesos de restauración. En otras palabras, encontramos una mayor cantidad de esporas en plántulas que en estados de desarrollo temprano y también en estados de desarrollo adulto. (García Romero, García Fernandéz, & Correa de Restrepo, 2004) .

Por otro lado, la cantidad de esporas con respecto al tipo de suelo va a estar limitada por factores químicos y físicos. Las características químicas del suelo van a determinar la densidad de esporas. Se encontraron una correspondencia entre la menor cantidad de esporas en regiones bajas esto por el PH alcalino. (Chaurasia, Pandey, & Lok Man s, 2005). Hay una contradicción con Brundrett(2004) en la cual indica que el mayor aumento del número de esporas se presenta cuando el PH se hace más ácido y el contenido de fósforo es menor. Mientras, que en otros estudios los resultados obtenidos muestras lo contrario Tirado, (2017). En las características físicas que pueden ser determinantes para es la temperatura como la compactación del suelo.

Este último nos factor unos de los más importante porque va a determinar la forma en que los propágulos de los hongos micorrizógenos se comportan (Bautista & Jimenez , 2008). En la características físicas el cambio altitudinal va a relacionarse con las características químicas, Según Lopez(2009) cuando aumenta el gradiente altitudinal aumenta el número de esporas y la concentración de fósforo disponible (Tirado, 2017).

Un común denominador, en el desarrollo de la producción de esporas, es en condiciones de estrés para el hongo, este aumenta la esporulación (Tirado, 2017). Por lo tanto, es en ecosistemas con condiciones adversas para las plantas huéspedes van a ser favorables para que los hongos puedan desarrollar su proceso de reproducción y les permite desarrollar procesos de colonización. En conclusión, las características que determinan la cantidad de esporas puede ser determinado por la fenología del huésped, la variaciones climáticas y las características químicas y físicas del suelo(LEÓN, 2015).

7.2.7 Cambios de Cobertura Vegetal

Los tipos de cobertura vegetal van a ser una factor importante en el desarrollo de los cambios en las comunidades de hongos. Las comunidades de HFMA no tienen preferencia por plantas en específico, sino que con el sitio de cobertura vegetal o con el tipo de ecosistema. (Valencia, Murillo, & Moyano Yolanda, 1995). Por lo tanto, por las características mismas de las comunidades de hongos, los estudios de las poblaciones de micorrizas deben basarse a partir de diferentes variables complejas.

Unas de las razones por las cuales los cambios de coberturas vegetales generan cambios recíprocos con las comunidades es la competencia por el establecimiento de las colonizaciones y esporulación. Esto se explica por la diferenciación en el comportamiento a los cambios producidos en medida de la competencia por los recursos en el ecosistema. Cuando hay cambios bruscos en las coberturas vegetales disminuye la competencia por recursos entre las plantas lo que permite que los recursos del suelo no sean un limitante para el crecimiento y producción de las plantas. En los HFMA, al contrario, aumenta la competencia por la búsqueda de plantas hospederas. (Schnoor, Lekberg, Rosendahl, & Olsson , 2011). Lo que demuestra que la cobertura vegetal es un factor determinante en el comportamiento de las comunidades fúngicas.

Las comparaciones de cantidad de presencia de hongos arbúsculares es diferenciada con respecto a la cobertura vegetal. Encontramos que los pastos, o sabanas, van a tener una tolerancia mayor a perturbaciones del suelo por la cantidad de raíces y una gran cantidad de esporas que encontramos en estos lugares. (JASPER, ABBOTT , & ROBSON, 1991). Se demostró que las Gramíneas, en comparación a otro plantas del bosque alto andino y paramos, tienes mayor porcentaje de relación simbiótica, comprobando su papel como colonizador sucesional(García Romero, García Fernandéz, & Correa de Restrepo, 2004).

7.2.8 Colonización

La colonización indica el nivel de interacción de la micorriza. Entre mayor sea el porcentaje de colonización fúngica mayor influencia tendría en el crecimiento y desarrollo de una planta (Monroy Ata & Yadira Ramírez, 2018). Pero, como se ha indicado anteriormente, el estudio del

comportamiento de los hongos micorrizógenos se debe relacionar con una cantidad de variables que permita tener un acercamiento. Esto, porque el porcentaje de colonización no corresponde con la cantidad de esporas que se encuentra en la rizósfera. La producción de arbúsculos puede deberse a que la estructura donde hay mayor limitación de nutrientes y necesita la micorriza mayores lugares de intercambio (Monroy Ata & Yadira Ramírez, 2018). Por lo tanto, las estructuras de colonización en las raíces son diferentes que las esporas encontradas (Wu, 2007). Porque la característica que más afectan a la colonización es el tipo de paisaje (LEÓN, 2015) Se encuentra que un mayor número de esporas no va a garantizar un mayor porcentaje de colonización porque muchas de estas pueden ser inviables como también pueden estar en latencia(JASPER, 1991). Sus estructuras estas en contante cambio dependiendo de los recursos del suelo. Mientras, que las esporas dependen del ciclo de vida de los hongos y no están en constante producción.

Para el desarrollo de procesos de colonización es importante el momento y desarrollo del huésped. En nivel colonización con respecto al desarrollo de las plantas van a abarcar diferentes estudios. El éxito de una especie de hongo micorrizógeno dentro de una comunidad está determinado por la capacidad de colonizar. Por lo tanto, el orden de llegada, al ser el primer hongo, determinas diferentes ventajas. Estas ventajas van a estar determinadas en un primer momento para que poder establecerse en la competencia de nutrientes. Al desarrollarse, la planta, las ventajas al ser el primer colonizador dejan de existir. Durante el proceso cuando la planta es adulta un comportamiento selectivo por medio del intercambio de nutrientes (Werner & Kiers, 2014). Existen indicios que las plantas en crecimiento puede ser colonizadas por mas y diferentes

taxones de HFMA que en etapas adultas(LEÓN, 2015). En otras palabras, en suelo perturbados las relajaciones micorrizógenas va a ser decisivas en es establecimiento de las plántulas pioneras.

Se plantea que el huésped controla el nivel de colonización dependiente de las necesidades fisiológicas. Las plantas pueden controlar el inicio y el grado de colonización de HFMA mediante la señalización de compuestos dependiendo el cambio de P y flavonoides, lo que va regulando la formación de arbúsculos o el incremento de hifas intra-radicales. Otros de los factores importantes son las características el hábitat que permiten que las plantas puedan ser dependientes o no de la necesidad de formar micorrizas (Vályi, Rillig, & Hempel, 2015).

El comportamiento de los porcentajes de colonización va a ser diferenciados con respecto a la cobertura vegetal, en la cual se encuentra. En suelos de sabana existe una constante perturbación producida por el lavado que estimula el crecimiento de raicillas lo cuando aumenta las probabilidades para que exista colonización. Como también, este estudio, la colonización aumenta con una mayor tasa de fotosintética producida por las características del ecosistema(Valencia, Murillo, & Moyano Yolanda, 1995).

En el bosque alto andino, a diferencia de las otras coberturas estudiadas, van a tener características importantes en la forma en que se adaptan las comunidades micorrógenas. En comparación, el bosque natural se presentan altos promedios de colonización radical con respecto a diferentes coberturas vegetales como las coberturas de parcelas de monocultivos y potreros, porcentajes de colonización más bajos (Cuellar, 2018). Una de las plantas más representativas del bosque alto andino es *Chusquea scandens*, donde se encuentra un alto grado

de asociación con HFMA puede estar relacionado directamente con el papel inductor de esta especie en los estadios sucesionales iniciales de la regeneración de la selva alto andina. Puede deberse a que en estados iniciales la necesidad de colonización aumento y, con respecto va creciendo disminuye la necesidad la simbiosis (García Romero, García Fernandéz, & Correa de Restrepo, 2004).

7.3 Diversidad

La relación se encuentra entre la diversidad de taxones es muy estrecha entre la micorriza. Existen diferentes características del ecosistema que van a afectar la diversidad de los hongos micorrizicos. Se enfoca en la ecología de comunidades el concepto de diversidad, Aunque existe debates con respecto a la utilización del concepto de diversidad. La determinación de los índices de diversidad nos permite determinar la coexistencia de las comunidades con cambios en los ecosistemas(Moreno, Barragán, Pineda, & Pavón, 2011). Dentro del estudio de la ecología de comunidades es necesario Entender el concepto de diversidad que comprende relaciones de equidad, riqueza y abundancia dentro de las poblaciones de una comunidad. (Halffter & Moreno , 2005)

Para la caracterización de un paisaje es necesario reconocer de qué manera todas las individuas, ha diferentes escalas de especies, género o comunidad, interactuar entre un espacio limitado por características físicas y químicas. Dentro de las diferentes formas de caracterizar estudio de la diversidad es importante porque nos permite estudiar el comportamiento de las

comunidades, o ensambles, dependiendo del enfoque ecológico con el que se determine (Halffter & Moreno , 2005). Dentro de los cambios físicos del suelo, los cambios de los niveles altitudinales representan un objetivo en esta investigación. En la teoría se ha señalado que existe una tendencia a la disminución de la diversidad y riqueza con respecto a la disminución de la diversidad y riqueza de la cobertura (Chaurasia, Pandey, & Lok Man s, 2005). En una mayor altura, y en condiciones con menos nutrientes, vamos a encontrar un aumento de la diversidad de especies. En el páramo de Monserrate aumenta la diversidad comparado con el tipo de bosque alto andino. (Valencia, Murillo, & Moyano Yolanda, 1995).

En diferentes estudios van a establecer de qué manera el aumento de la riqueza y abundancia de los HFMA tiene una relación proporcional con la riqueza y abundancia de los hospederos (Van der heijden et al,1998)(Kernaghan, 2005) (Chaurasia, Pandey, & Lok Man s, 2005) (Landis, Gargas, & Givnish, 2004) (López Botía & Peña, 2018). Se han tomado diferentes registros del número de taxones y puede llegar a un aproximado de diez taxones en el suelo tropical (LEÓN, 2015). A medida que se desarrolla la asociación simbiótica, la composición de la comunidad vegetal estable un mayor grado de complejidad, aumentando el número de plantas huéspedes disponibles para el hongo, lo que a su vez aumenta la productividad y estructura mejor de la comunidad de hongos micorrizógenos presentes en la rizófera de dicho ecosistema. Según Opiket al.2008 hay una tendencia hacia la diferenciación proporcional en la riqueza de especies de HFMA con ecosistemas diferentes(LEÓN, 2015).

Dentro de las características articulares de los tipos de cobertura vegetal, cuando la cantidad de plantas aumenta y también aumenta la diversidad de HFMA. En consecuencia, el tipo de cobertura vegetal va a ser un indicador del nivel de diversidad fúngica. En una extendida cantidad de estudios se plantea que estos cambios de cobertura vegetal pueden beneficiar o disminuir la diversidad de las plantas. Se plantea que hay una relación entre la diversidad de plantas y diversidad de HMFA en donde un ecosistema como sabana disminuiría su diversidad por la homogenización de sus especies. (Landis, Gargas, & Givnish, 2004). Otro estudio, en la misma conclusiones, propone que la riqueza más alta ha sido observada en el bosque tropical-llanuras, bosque templados y luego bajo influencia antropogénica o en bosques homogéneos(LEÓN, 2015).En contravía con lo expuesto, otros estudios concluyen que en coberturas de pastos y herbáceas tienen mayor riquezas que las coberturas de plantas leñosas. En paisajes de denudación se encontró mayor cantidad de especies en comparación a otros hábitats, lo que quiere decir que es el tipo de paisaje es lo que más determina la riqueza de hongos de un ecosistema (LEÓN, 2015). Esto puede ser por la forma de crecimiento de las plantas que permite una interacción mayor por el tiempo y la cantidad de raíces producidas (Davison, Garcia de Leon, Zobel, Moora, & Bueno, 2020).

La diversidad, riqueza y abundancia van a tener sensibilidades dependiendo los cambios que se presenten en los ecosistemas, lo que se conoce como perturbaciones. En perturbaciones moderados ayudar y aumentan la diversidad de HFMA, pero disminuye en disturbios extremos (LEÓN, 2015). Diferentes perturbaciones van a afectar la diversidad y composición de las

comunidades de hongos. La defoliación, el pastoreo y la fertilización cambian la riqueza y composición. Es la intensidad del uso del suelo lo que modifica claramente la identidad de las plantas huéspedes. A partir de esto, se observa que es la identidad de la cobertura vegetal es más importante que la fertilidad del suelo, con excepción cuando los porcentajes de fósforos son muy altos, es cuando el factor de fertilidad se vuele el factor fundamental (Vályi, Rillig, & Hempel, 2015). Las comunidades de hongos están cambiando constantemente dependiendo de los cambios producido por factores limitantes. Este estudio demuestra, con los resultados obtenidos demuestran una relación directa entre la diversidad de hongos HFMA y número de esporas presentes en la rizósfrra con la dinámica sucesional del bosque, donde a medida que se alcanza una condición clímax la diversidad disminuye, la competencia entre HFMA se va modificando con especies que mantienen mayor resistencia a tiempos largos de pocas perturbaciones (García Romero, García Fernandéz, & Correa de Restrepo, 2004).

7.3.1 Tipos de diversidad

El estudio de la diversidad se basa en dos unidades fundamentales, la diversidad de inventarios y diversidad de diferenciación. La primera representan Gamma y alfa, mientras que la segunda es representada con la diversidad beta (Calderón Patrón, Moreno, & Zuria, 2012).

7.3.1.1 Beta

La diversidad beta , según whiteker(1956) se describe como la magnitud de cambio en la composición de las especies a lo largo de un gradiente ambiental a entre diferentes comunidades

en un paisaje. En los últimos debates, pueden ser descrito como el resultado de dos fenómenos fundamentales. La diferenciación en la composición de especies y el anidamiento entre comunidades con diferentes números de especies (Calderón Patrón, Moreno, & Zuria, 2012).

Se encuentra diferentes causas para la conformación de la diversidad Beta. La primera determina como causa la composición de especies es uniforme sobre áreas grandes, por lo que a diversidad beta es nula. La segunda causa, es la composición de especies que fluctúa aleatoriamente en una forma auto correlacionada la capacidad de dispersión de las especies. Y la última se refiere a la distribución que tiene relación con las condiciones ambientales (Calderón Patrón, Moreno, & Zuria, 2012).

7.3.1.2 Alfa

El Índice de Shannon indica la diversidad, el grado de incertidumbre en la identidad de la especie a la que pertenece un individuo seleccionado al azar de la comunidad, no representa la diversidad misma. Existe una correlación entre el aumento de la entropía como el aumento de la diversidad. En conclusión, estos índices no tienen una interpretación clara. (Moreno, Barragán, Pineda, & Pavón, 2011). La diversidad Alfa, que se encarga de las relaciones ecológicas que se encuentran en un espacio puntual determinar el número de especies presentes en un lugar particular, es la riqueza en especies de una muestrea territorial (Halffter & Moreno , 2005)

El índice de Shannon refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: El número de especies presentes y su abundancia relativa. Conceptualmente una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad.

Entre menor entropía, menos grado de incertidumbre, y, por ende, mayor seguridad de que un individuo escogido puede ser determinado(Pla, 2006).

El índice de Shannon generalmente oscila entre 1-5 en estudios anteriores. Se reporta que en campos arables el Índice de Shannon es de <1 mientras que en bosques tropicales y templados encontramos que este mismo indice es de >2. (LEÓN, 2015).

7.3.1.3 Gamma

Se comprender como el número de especies del conjunto de sitios o comunidades que integran un paisaje. (Halffter & Moreno , 2005). Es importante entender las relaciones entre los diferentes tipos de diversidad, entre lo puntual y lo regional en los ensambles y el pool de probabilidades. Esto nos permite comprender mejor el comportamiento de ensambles, o comunidades, en un paisaje determinado. a es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultante tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta (Whittaker, 1972) (Moreno, 2001).

7.4 Especies y Géneros encontrados

El estudio del comportamiento diferenciado de los diferentes taxones de hongos micorrizógenos es importante para procesos sucecionales de restauración y para identificar en qué medida el suelo puede ser un limitante en la regeneración de un ecosistema. Existe una selectividad a partir de los productos de las micorrrizas que permite tener determinar qué tipos de grupos taxonómicos se relacionan con tipos determinados de plantas y en qué momento se

realiza (Davison, Garcia de Leon, Zobel, Moora, & Bueno, 2020). Desde hace un tiempo, se ha venido estudiando la identificación de las relaciones particulares de grupos taxonómicos con los cambios en el suelo, y, por ende, de la productividad de cultivos, aunque comparando con otros grupos taxonómicos los HFMA, es relativamente nuevo. Existe una tendencia de la mayoría de estudios que se van a enfocar en cuatro géneros específicos: Glomus, Acualospora, Scutellospora y Gisgantospora(van der Heyde,2017). En cuanto a la riqueza vamos a ver de qué manera los hongos que condiciones de más fácil esporulación y colonización van a ser lo primeros en llegar al suelo perturbado donde les van a conceder diferentes en ventajas. pero mediante aumenta la competencia de HMFA llevan especie cíes más competitivas. (Schnoor, 2011) . Identificar la composición de la comunidad de HFMA podría ser más importante que el número de taxones por las funciones y características de cada una(LEÓN, 2015).

El género Glomus, pertinente a la familia Glomeraceae , es uno, si no el género más estudiado por su comportamiento ante las perturbaciones. Este género se va a encontrar en suelos donde no tiene limitantes en sus características químicas en suelos de mayor porcentaje de nitrógeno y compuesto en su mayoría de arcilla , en comparación a otros tipos de suelo (Landis, Gargas, & Givnish, 2004). Los glomerales donde el, genero Glomus, pueden ser los más representativos porque tienen esporas pequeñas que permiten mayor dominancia en suelos con recursos disponibles (LEÓN, 2015). Glomeraceae va a ser la familia cuyo reporte comprenden a los organismos que minoritarios en cambios químicos y de cobertura vegetal. Pero, van a ser más dominantes en perturbaciones físicas del suelo por las altas tasas de crecimiento, reproducción y esporulación. Es, por lo tanto, que, según Jhonson et. Al(1991), el género Glomus va a tener una

dominancia en paisajes perturbados por sus características de reproducción(van der Heyde,2017). En comparación con otros géneros, la mayoría de las especies de Glomus pueden germinar a partir de esporas y de raíces micorrizadas, mientras que géneros como *Acaulospora, Scutellospora, Cetraspora* y *Gigaspora* germinan preferiblemente, y en algunos casos exclusivamente, a partir de esporas después del periodo de dormancia(LEÓN, 2015). Dentro del mismo género, también, se encuentra diferencias en el comportamiento de las especies, como se reporta G. microaggregatum , G. mosseae y G. versiforme tienen una asociación con suelos perturbados. Y después G. microaggregatum en parcelas control (Schnoor,2011).

En el género *Acualospora* no hay un conceso en cuanto al comportamiento ante las perturbaciones del suelo. Esta contradicción se baso en la textura del suelo como los porcentajes de nitrógeno. Ahora, *Acaulospora* no mostro una preferencia por los diferentes tipos de suelos. . (Landis, Gargas, & Givnish, 2004). En contradicción, a estos resultados, muestra como *Acualosporaceae* se reconoce que tienen una mayor tolerancia que otros grupos taxonómicos por el tamaño pequeño de su micelio. Pero tiene un poca capacidad de crecimiento, una tasa muy lenta de esporulación como de crecimiento del micelio. (van der Heyde,2017). Un caso específico en donde se identificó a *Acualospora tuberculata* fue encontrada como una especie, la cual, se destaca por su capacidad adaptativa a perturbaciones, mientras que *Gigaspora* y *Scutellospora* son mayores susceptibles a las perturbaciones (Lovera & Cuenca, 2007).

Los anteriores géneros son los más representativos en las investigaciones sobre cambios a las comunidades de hongos por perturbaciones en el suelo. Es importante de denotar, que la identificación de estos géneros es la misma área de estudio determino que eran resistentes, comparación con otras taxas. Mostrando como entre más perturbado el ecosistema diferentes géneros, en este caso *Acaulospora y Glomus,* tienen más tolerancia a los altos niveles de acidez (Coba de Gutiérrez & Jorge, 1995). *Acualospora* y *Glomus* se encontraron en una mayor cantidad en la región de Monserrate. Esto se puede inferir que estos géneros son más tolerantes a los cambios de PH. (Coba de Gutiérrez & Jorge, 1995). En otros estudios se determinó que el género *Glomus* un comportamiento de abundante en suelos xerofíticos cuando el suelo se encuentra deteriorado hay un aumento de las esporas pequeñas, de la familia *Glomeraceae* y género *Acualospora.* Estos son más resistentes que las Giganteosporas (Monroy Ata & Yadira Ramírez, 2018).

Los siguientes dos géneros encontrados en las investigaciones son *Scutellospora* y *Gigasporra.* Scutellospora fue más común en suelos con bajos niveles de nitrógeno y arenoso(Landis, Gargas, & Givnish, 2004). Después, encontramos a la familia de *Gigasporaceae,* que, por sus características de reproducción, más específicamente por las características morfológicas de las esporas que comprenden su gran tamaño, al tener una tasa de crecimiento de esporulación lenta no permite ser un buen represéntate en cambios abruptos del suelo, pero si permite tener tolerancia a los cambio químicos como de hospederos por la capacidad de resistencia en sus esporas. (van der Heyde,2017). Por sus características de reproducción y fisiológicas, *Gisgaspora* y *Scutellospora* se pueden encontrar en baja densidad de

esporas, características propias de la formación compleja de sus esporas, pero gran diversidad en ecosistemas estables y diversos, por la resistencia a las perturbaciones y dominancia en cuanto a colonización de plantas hospederas (LEÓN, 2015).

8. Metodología

8.1 Zona de estudio

El lugar donde se realizó la investigación se encontrada en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá. En la localidad de Santa Fe. Las coberturas vegetales del área se clasificaron en Pino, Nativo, Retamo y sabana.

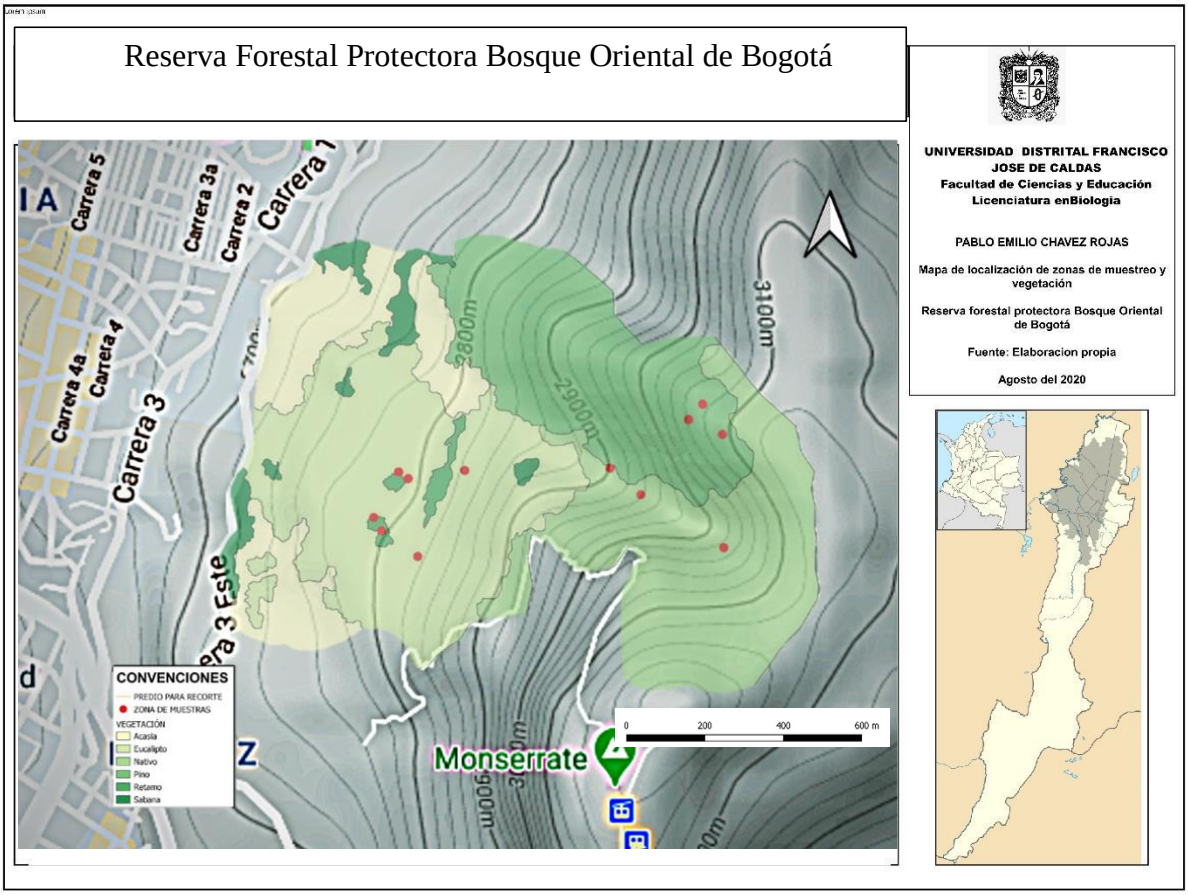


Figura F. Encontremos el área donde se realizó la investigación. Zonas de cobertura vegetal.

# Muestra	**Tipo de cobertura vegetal**	**Coordenadas**	**Altura(msnm)**
1	Pino	N 04°36´45” W 74°03´11”	3136
2	Pino	N 04°36´44”W74°03´12”	3126
3	Pino	N 04°36´48”W74°03´13”	3146

4	Retamo	N 04°36´42” W74° 03´34”	2788
5	Retamo	N 04°36´42,3”W74°03´19,9”	2792
6	Retamo	N 04°36¨42 W074° 03´34”	2787
7	Nativo	N 04°36´42,3”W 74°03´19,9”	2893
8	Nativo	N 04°36´41,9”W 79°03´20,1”	2907
9	Nativo	N 04°36´37”W74°03´11”	2972
10	Sabana	N04°36´35”W74°03´35”	2777
11	Sabana	N04°36´37”W74°03´35”	2780
12	Sabana	N04°36´35”W74°03´36”	2770

Tabla A. Donde encontramos la ubicación de los puntos de muestreo.

8.2 Fases de investigación

Dentro de diferentes estudios con la misma metodología encontramos que el método en recolección de datos se divide en dos fases, una de campo y la siguiente en laboratorio. La fase de laboratorio se desarrolló en el laboratorio de Fisiología Vegetal y el herbario de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

8.2.1 Fase de Campo

Se realizó un muestreo sistemático no lineal de 12 muestras para la búsqueda de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares. En cuatro diferentes coberturas vegetales ubicadas en diferentes alturas, determinadas antes por medio de una identificación del área de estudio. En cada cobertura se muestreo tres zonas diferentes, de las cuales se extrajeron, de cada una, tres submuestras al azar. Cada muestra de suelo fue recolectada a una profundidad de aproximadamente 20 cm y colectada en bolsas de 2 libras. Luego, estas bolsas fueron puestas dentro de otra bolsa con la etiqueta que tenían la información de: lugar georreferenciado, altura, número de muestra, fecha, temperatura del suelo, temperatura del ambiente, presión de penetración y características particulares de lugar, como el tipo de vegetación circundante como detalles del suelo (López Botía & Peña, 2018). Estos datos fueron recolectados por medio de GPS Garmin Etrex10; temperatura del suelo con termómetro de tierra Greenco; temperatura ambiente con termohigrómetro digital y resistencia del suelo con penetrómetro Pocket penetrometer CL –700A SOIL TEST INC . USA , con escala entre los 0.25 y 4.5 kg/cm2" (López Botía & Peña, 2018)

Paralelamente en que se va recolectando las muestras de suelo se realiza la recolección de las raíces para encontrar el porcentaje de colonización. En los diferentes transeptos de coberturas vegetales se realizó la recolección de raíces de tres plantas nativas. En una profundidad de 10 a 20 cm. Esto se realiza localizando las raíces más gruesas y cercanas al tronco, después de ellos se hace un seguimiento de las diferentes ramificaciones hasta llegar a las raíces más delgadas, donde se tomaron 7-10cm de fragmentos de raicillas. Después fueron puestas en francos con

alcohol al 70% para ser transportadas al laboratorio. Este último proceso es necesario que se realice al instante para la conservación de los arbúsculos dentro de las raíces. (Lara Pérez, y otros, 2014)

8.2.2 Fase de laboratorio

8.2.2.1 Aislamiento de esporas

Para el aislamiento es necesario reconocimiento de diferentes metodologías en las cuales se deben determinar su eficacia a la hora de terminar una mejor metodología para la extracción de estas esporas. Las diferentes etapas pueden establecerse con un orden especifico según la necesidad en la metodología. Para ello es necesario que estas metodologías, en cada repetición, sean lo más parecido posible para que los resultados tengan un porcentaje erros similar. Los métodos utilizados son descritos por (Gerdemann & Nicolson, 1963) y (Walter, Christopher Mize, Carl Jr, & Harold, 1982). Se describe cada muestra con el siguiente procedimiento, según (Cuellar, 2018) (Tirado Ardila, 2017):

1. Separación con un matiz X la muestra recolectada. Se separa elementos grandes del suelo
2. Con el suelo separado se realiza una mezcla constante en los recipientes
3. Se separa 20 gr de esta muestra
4. Depositar en un beaker de aproximadamente 1000ml

5. Aforar a 800 ml de agua y agitar, de manera constante 20 segundos, dejar en reposo por otros 20 segundos para luego vaciar en un juego de tamices de 45 μm y 450 μm. Este procedimiento se repite tres veces.

6. Cuando se obtenga un producto en el tamiz más pequeño vaciar en tubos falcón, según la cantidad que se obtenga, depende del tipo de suelo la cantidad de producto es diferente con una adición de 45 ml de agua.

7. Centrifugar por 5 minutos 4000 RPM

8. Eliminar sobrenadante. Para este procedimiento es importante tener en cuenta que las esporas se encuentran en la parte inferior, al mezclarse con el agua el objetivo es separar los materiales que sean más livianos al agua.

9. Adicionar solución de sacarosa a un a un ¿% previamente preparado a los tubos falcón.

10. Mezclar el precipitado con la solución de sacarosa para que cuando se centrifugue se pueda separar por peso los elementos que son más livianos que la solución.

11. Centrifuagar por 7 minutos a 5000 RPM.

12. Vaciar sobre el tamiz de 45 μm. Mezclar con agua para filtrar la solución de sacarosa y der separa las esporas.

13. Vaciar en caja Petri para poder realizar el conteo.

8.2.2.2 Conteo de Esporas

Las esporas que fueron separas y puestas en cajas de Petri, con una matriz de 0,5 cm cuadrados, se realiza la observación con el estereoscopio. Para la cuantificación se realizó la

observación mediante movimientos por las filas de derecha a izquierda en la matriz utilizando un contador manual. Paralelamente a que se va contando la cantidad de esporas en general, se va separando morfotipos para cuantificarlos. Esta separación de morfotipos se realiza por diferentes características de tamaño, color y forma. La elección de las esporas debe tener características de turgencia y citoplasma intacto.

8.2.2.3 Identificación de Esporas

Para la identificación de los morfotipos encontrados en el conteo es necesario extraer de las cajas de Petri grupos representantes de cada uno para identificarlas mediante características en un microscopio. En la extracción de esporas de la caja Petri se utiliza Tubos capilares, tubo de vidrio de aproximadamente 1 mm de diámetro, para trasportarla en un portaobjetos. En el porta-objetos se fija con PVLG (Polivinil Lacto Glicerol) en la primera mitad y en la segunda se fija mediante Reactivo de Melzer esto para poder determinar las características mediante la utilización del microscopio óptico.

En la observación de las características color, tamaño, forma, características de la pared, número de paredes y/o de capas, presencia de ornamentaciones, escudos, características de la conexión hifal y presencia de otras estructuras como células auxiliares y esporocarpos. (LEÓN VELANDIA, 2015). Estas características se compararon con las características morfológicas encontradas en artículos y sitios web (West Virginia University, 2017) (Oehl, Sieverding, Palenzuela, Ineichen, & Alves da Silva, 2011). Para facilitar la identificación se utilizó reportes en estudios anteriores de la misma área. (Valencia, Murillo, & Moyano Yolanda, 1995).

8.2.2.4 Tinción de raíces

Para la tinción de las raíces se utilizaron diferentes metodologías. Estas metodologías teóricas se contrastaron con la experiencia en el laboratorio. Es en un primer momento (KOSKE & GEMMA , 1989) (Phillips & Hayman, 1970) . La utilización de *Trypan blue* se considera cancerígeno por lo que se le hace una modificación a la metodología con tinta - ácido acético al 25% (Vierheilig, Coughlan, Wyss, & Piché, 1998). Cabe recalcar que Trypan *blue* fue la tinción que se utilizó por los resultados favorables en comparación con tinta - ácido acético al 25%.

1. Caliente las raíces en 2.5% KOH 3 min a 121 'o 10-30 min a 90 ° en baño de Maria.
2. Enjuague las raíces en agua con colador.
3. Si es necesario, blanquear las raíces en HO alcalino, durante 10-30 min.
4. Enjuague en agua.
5. Remojar las raíces en 20-50 vol. 1% de HC1 durante 1-24 h.
6. Tiñe las raíces en glicerol ácido / azul de tripano durante 3 minutos a 121 'o 10-30 min a 90'.

8.2.2.5 Conteo de Porcentaje de Colonización

Se realizó el montaje 9 láminas cada uno con 10 fragmentos de raíz. En cada fragmento se identificó los porcentajes de colonización propuesto por Trouvelot et al (1986) : (F%) Frecuencia de micorrizas en el sistema raíz, (M%) intensidad de la colonización micorrízica en el sistema radicular, (m%) intensidad de la colonización micorrízica en los fragmentos de la raíz,

(a%) abundancia de arbusculos en partes micorrícicas de fragmentos de raíz, (A%) abundancia de arbusculos en el sistema radicular(*Figura U*) (FÜZY, BIRÓ, KOVÁCS, & TAKÁCS, 2015). El cálculo con el cual se realizó estos porcentajes fue mediante la utilización de INOQ *Calculator classic method*. (Adapted by L. MERCY 2016). La altura baja fue recolectada en rizosfera de *Macleania rupestres*, altura media en la rizosfera de *Baccharis macrantha* y la mayor altura rizosfera *Chusquea scandens*.

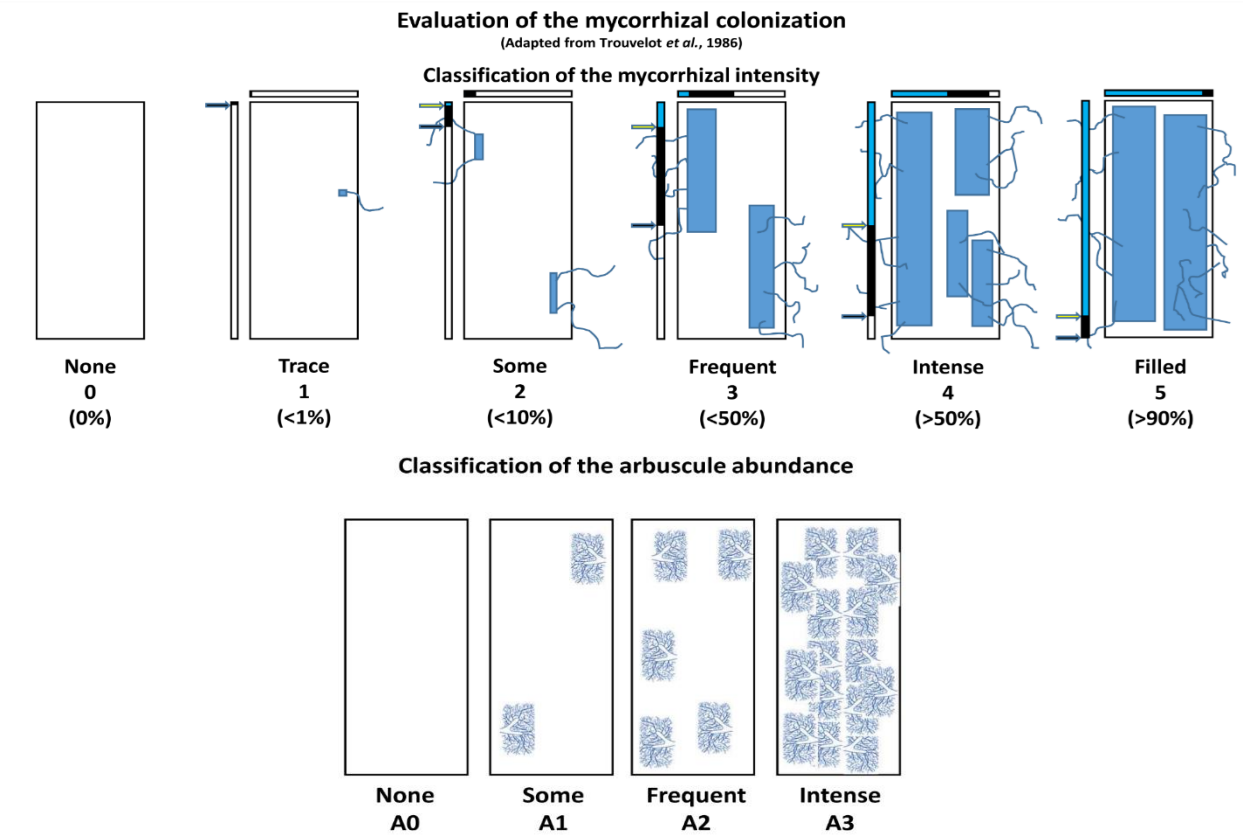


Figura G. Encontramos un diagrama de la manera de evaluación de los porcentajes de colonización de micorrizas.

8.2.2.6 Método estadístico

Se realizó diferentes análisis estadísticos de normalidad, ANOVA, índices de diversidad, como también, se realizaron las diferentes gráficas con el programa de software libre R® versión 3.6.3. En un primer momento, se desarrolló una prueba de normalidad de Kruskal-Wallis bajo un nivel de significancia del 0.05 para la cantidad de esporas con variables no dependientes de tipo de cobertura vegetal y altura. También se realizó un análisis de varianza ANOVA de dos factores de altura y tipo de cobertura con respecto a la cantidad de esporas. Después, se realizó la prueba *tukey* de comparación múltiple de medias para poder determinar que media, de coberturas vegetal, tenía una mayor diferencia significativa en cantidad de esporas.

Para poder desarrollar los análisis de riqueza y biodiversidad se utiliza el paquete '*vegan*' versión 2.5-6 que nos permitió realizar identificar la distribución de las espacies, el índice de Shannon (*Figura D*), índice de Simpson (*Figura I*) y la diversidad beta para las especies como para la distribución de géneros encontrados.

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

Figura H. Indicie de Shannon. (*S*),número de especies.(*Pi*),proporción de individuos de la especie *i* respecto al total de individuos. (*ni*)número de individuos de la especie *i*. (*N*), número de todos los individuos de todas las especies. (Pla, 2006)

$$I_J = \frac{c}{a + b - c}$$

Figura I. Coeficiente de similitud de Jaccard**.** (*c*)**,** es el número de especies que comparten en los dos sitios. (*a*), número de especies en el sitio A. (*b*) es el número de especies en el sitio B.

Gamma = alfa promedio + beta

9. RESULTADOS

9.1 Características físicas del suelo

Encontramos, en el análisis fisico del suelo, un cambio en las diferentes muestras. Encontramos que las variables como presión de compatación, temperatura del suelo y temperatura de ambiente hay una disminución de sus valores con respecto al aumento de la altura, la disminución de la tempretarua va a ser mayor en el suelo que en el ambiente. Mientras que la humedad del suelo, humedad del ambiente amuneta con respecto que cuando amuenta la altura, la propocion de aumento es mayor con la humedad del suelo. (*Tabla J*)

# Muestra	**Tipo de cobertura vegetal**	**Coordenadas**	**Altura(msnm)**

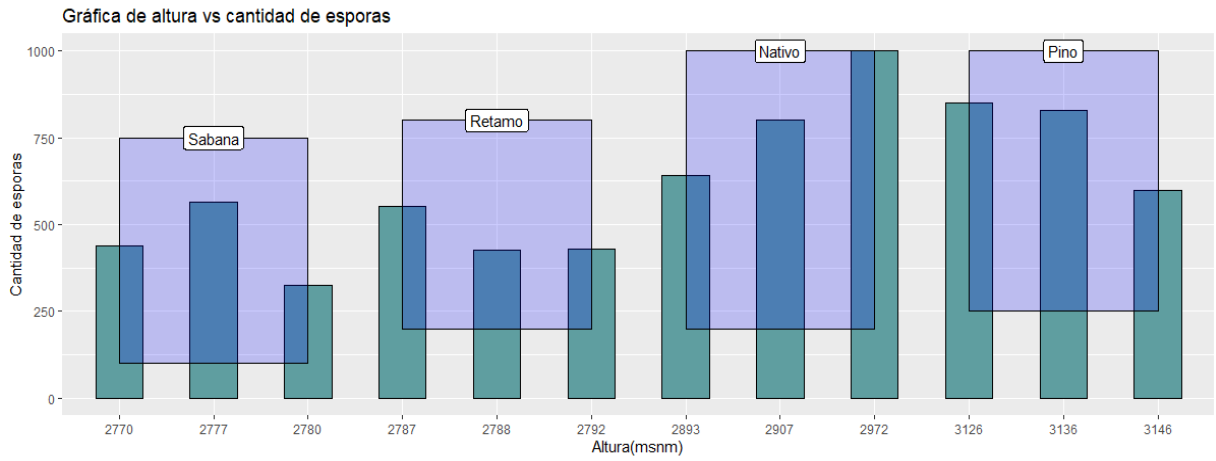
1	Pino	N 04°36´45” W 74°03´11”	3136
2	Pino	N 04°36´44”W74°03´12”	3126
3	Pino	N 04°36´48”W74°03´13”	3146
4	Retamo	N 04°36´42” W74° 03´34”	2788
5	Retamo	N 04°36´42,3”W74°03´19,9”	2792
6	Retamo	N 04°36¨42 W074° 03´34”	2787
7	Nativo	N 04°36´42,3”W 74°03´19,9”	2893
8	Nativo	N 04°36´41,9”W 79°03´20,1”	2907
9	Nativo	N 04°36´37”W74°03´11”	2972
10	Sabana	N04°36´35”W74°03´35”	2777
11	Sabana	N04°36´37”W74°03´35”	2780
12	Sabana	N04°36´35”W74°03´36”	2770

Tabla B. Tabla de caracteristicas fisicas del suelo y del aambiente de diferentes lugares de muestreo.

9.2 Cantidad de esporas por altura

Se realizó el conteo del número de esporas por tipo de cobertura vegetal dato cuantitativo discreto (PALACIO, APODACA, & CRISCI, 2020).Encontramos la cantidad de esporas en diferentes alturas. (*Figura R*). Se puede observar un aumento proporcional de cantidad de esporas con respecto al aumento de la altura, donde desde una altura de 2893 hasta 3146 msnm

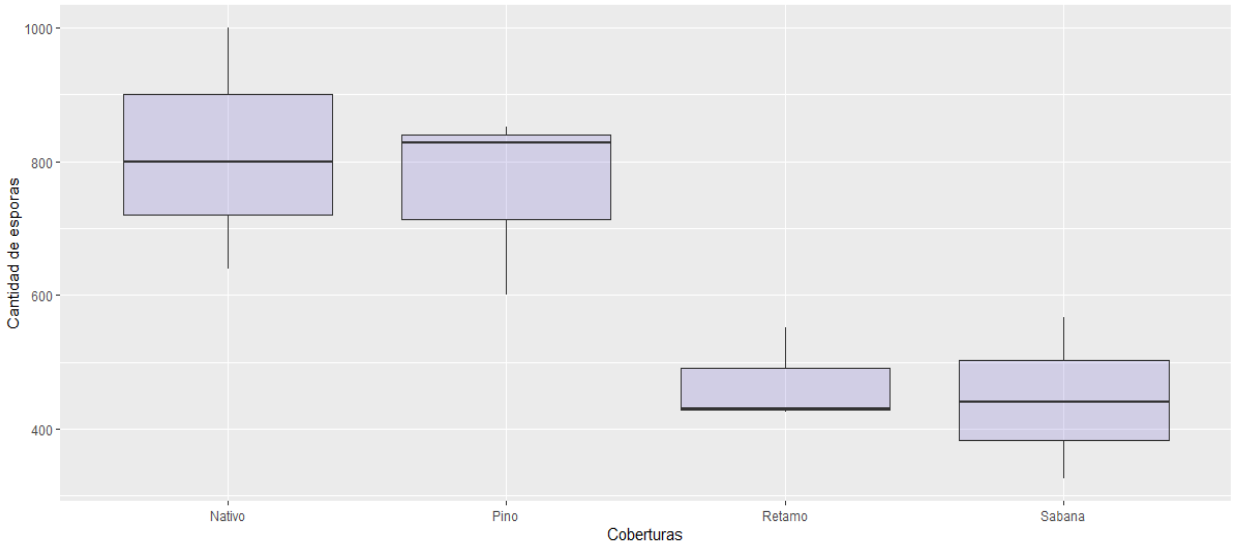
encontraremos el mayor número de esporas. Encontramos un aumento significativo desde 2893 a 2972 msnm y 3126 a 3146 msnm que corresponde a la cobertura de bosque Nativo y bosque de Pino. El muestreo se realizó durante dos días. El primero correspondió al 19 de marzo del 2019 con una precipitación de (10-20) mm y la siguiente fecha fue el 28 de abril del 2019 con una precipitación de (5-10) mm. (IDEAM, 2019)



Gráfica A. Gráfica de altura vs Cantidad de esporas. En el Eje x se posiciona la altura relacionado con la cantidad da esporas encontradas. Dentro de la gráfica encontramos una división de bosques por tipo de cobertura vegetal.

El análisis de ANOVA de dos factores es significación (P<0,05), cuando se realizó el siguiente análisis de ANOVA de dos factores nos mostró que un cambio significativo que represento un cambio en la cantidad de esporas fue el cambio de altura en comparación a las coberturas vegetales. Dentro de la comparación de tipos de cobertura vegetal se encontramos que las mayores diferencias de comparación de medianas la vamos a encontrar la mayor diferencia

significativa la vamos a encontrar entre la cobertura de bosque nativo con respecto a cobertura de retamo como de sabana como se observa en (*Gráfica T*), comprobamos estas diferencias mediante el análisis de *Tukey* donde encontramos que los valores que nos mostró mayor diferencia fue la relación de cobertura de bosque nativo con cobertura de Retamo con un valor de 0.053 la siguiente mayor diferencia la encontramos con la cobertura de bosque nativo con cobertura de Sabana con un valor de 0.035.



Gráfica B. Diagrama de caja, cantidad de esporas vs Coberturas vegetales. Se encuentra una comparación entre las medias de cantidad de esporas por cada cobertura.

9.3 Colonización

En los resultados de porcentajes de colonización que se realizó en tres alturas especificas del bosque alto andino encontramos que hay un aumento de la colonización con respecto al aumento de la altura (*Tabla X*). A una menor altura encontramos características pocos

porcentajes de colonización. A una altura de 2860 msnm encontramos no solo un aumento en la frecuencia sino el mayor porcentaje de abundancia de arbusculares en partes micorrizicas de fragmentos de raíz. Mientras que a una máxima altura de 2900 msnm encontramos un aumento leve en la intensidad colonización micorrízica en el sistema radicular.

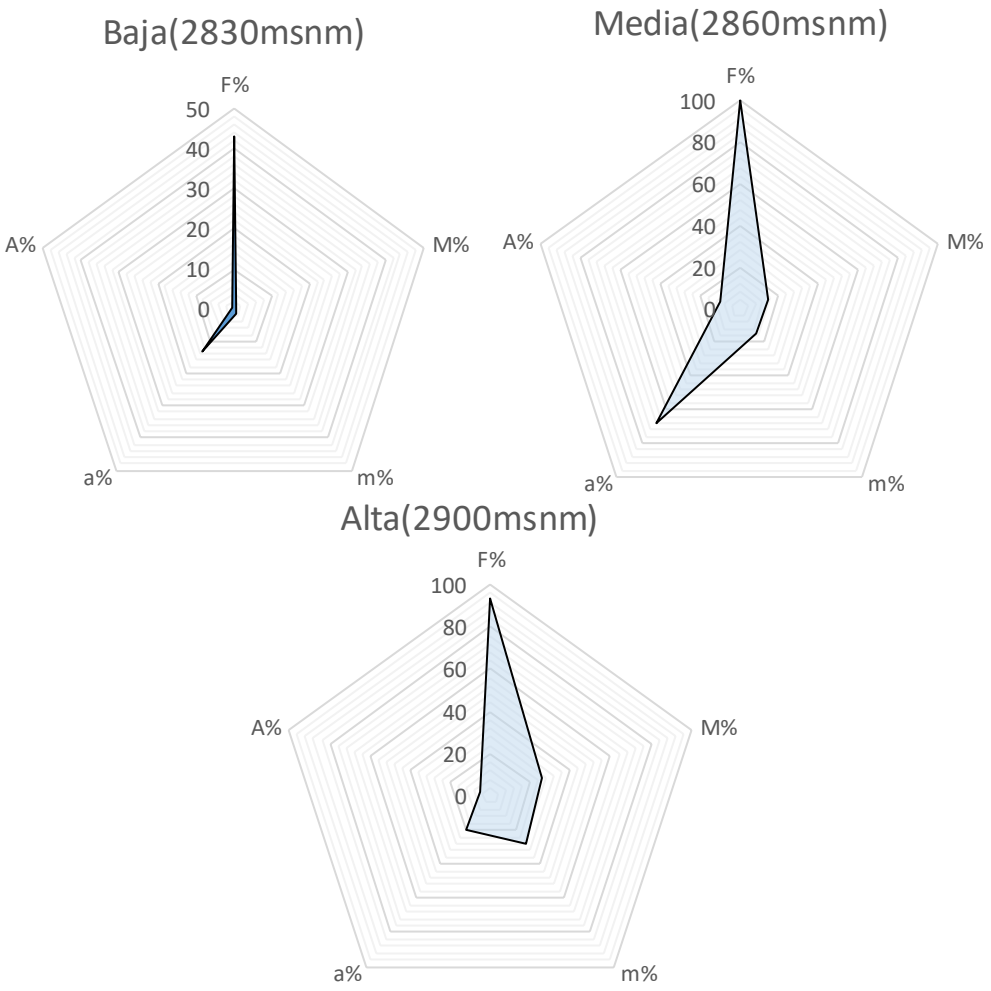


Tabla C. Porcentajes de colonización. (F%) Frecuencia de micorrizas en el sistema raíz, (M%) intensidad de la colonización micorrízica en el sistema radicular, (m%) intensidad de la colonización micorrízica en los fragmentos de la raíz, (a%) abundancia de arbusculos en partes micorrícicas de fragmentos de raíz, (A%) abundancia de arbusculos en el sistema radicular. La altura baja fue recolectada en rizosfera de *Macleania rupestres*, altura media en la rizosfera de *Baccharis macrantha* y la altura alta en una rizosfera *Chusquea scandens*.

En la *Figura O* podemos observar diferentes imágenes de la epidermis radicular de diferentes plantas con estructuras de HFMA. Se puede observar diferentes estructuras de la relación micorrízica como son hifas, arbusculos, vesículas fuera y a dentro de las células de los huéspedes. Como se observar en la gráfica anterior de colonización, encontraremos una gran frecuencia de colonización como de formación de arbusculos. Una observación sobre estos resultados tiene que que vale la pena hacer una apreciación es que las relaciones micorrizogenas se desarrollan con una gran complejidad no solo en una bidireccional entre planta y hongo, sino que encontramos un micro ecosistema dentro de esta relación. Un ejemplo lo podemos observar den la (Figura O- C.) donde se observa la relación de dos hifas evidentemente diferentes, esto se evidencia por el tamaño, esta relación permite evidenciar que entre los mismos HMFA también tienen un nivel de relación ecológica.

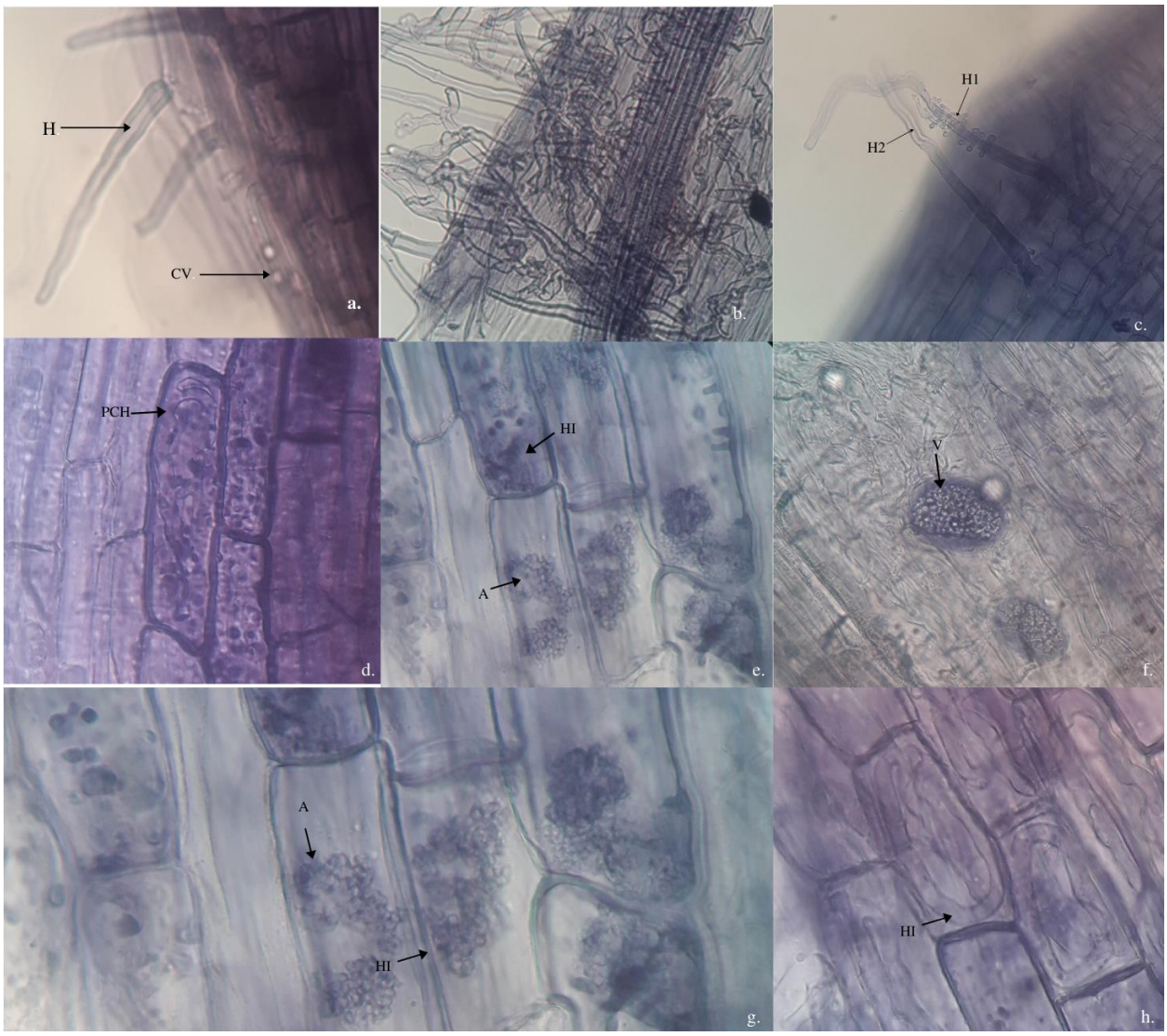


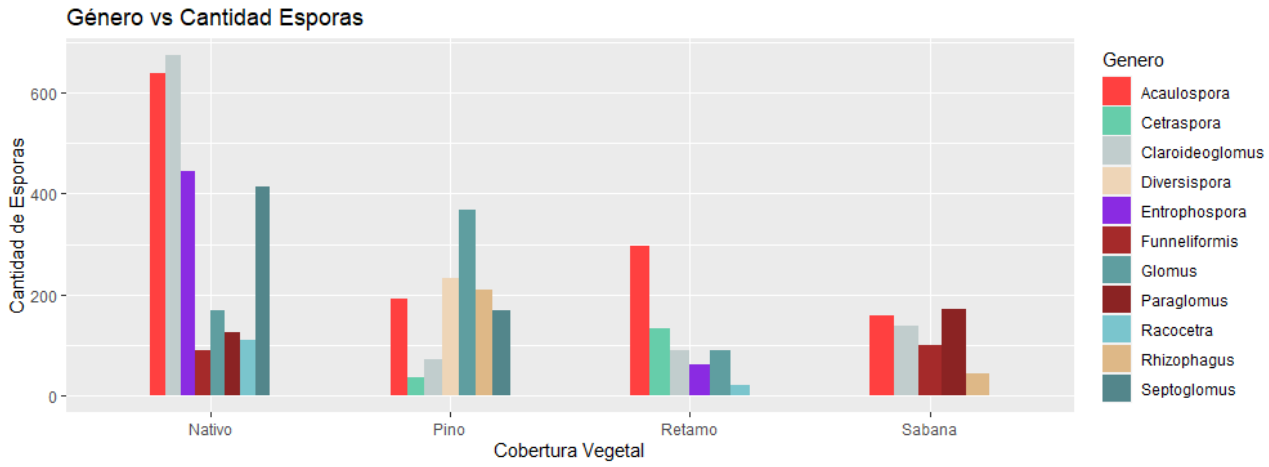
Figura K. Imágenes de colonización. (a-g) raíces de *Baccharis macrantha* , h. raíz de *Macleania rupestres*. (H) hifa extraradicular, (V) vesícula, (A) arbusculo, (PCH) pared celular con colonización.

9.4 Diversidad

Encontramos que hay una mayor cantidad del género aculaospora. Esto puede ser por características mismas del género, pero también, y es lo que realmente presumimos, es por la

formación taxonómica donde encontramos en la forma de clasificar una gran cantidad de especies en solo este género. Entonces esto deja que hay una mayor probabilidad de que los morfotipos encontrados pertenezcan al género que tenga mayor cantidad especies.

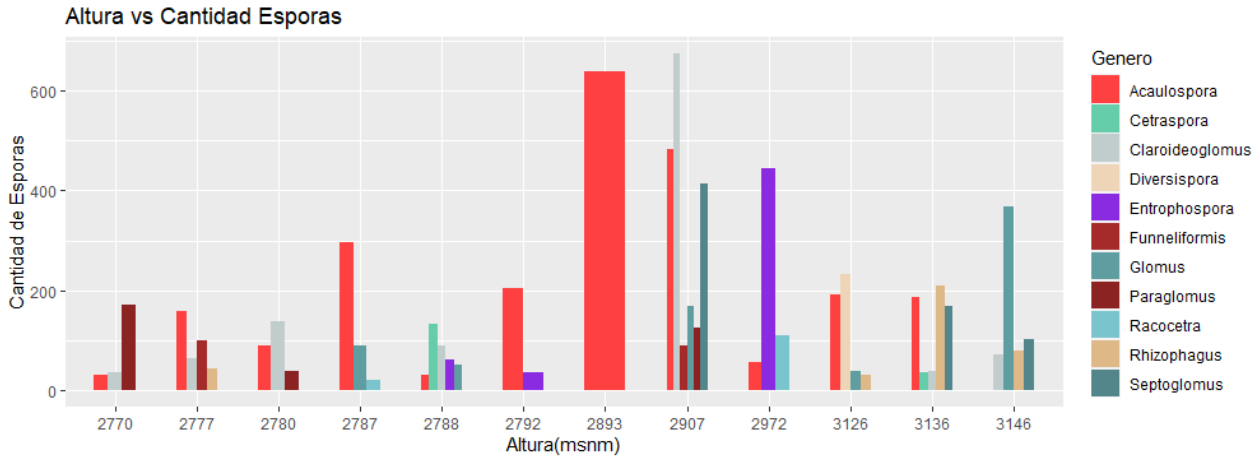
Los resultados obtenidos (*Gráfica U*) se compara con 11 géneros encontrados en diferentes coberturas vegetales. En los resultados obtenidos donde se observa la representatividad por género como la cantidad de géneros por cobertura vegetal se observa que la cobertura vegetal que tiene mayor cantidad de géneros como de cantidas de esporas que representan a cada uno em coparación con las otras coberturas vegetales.



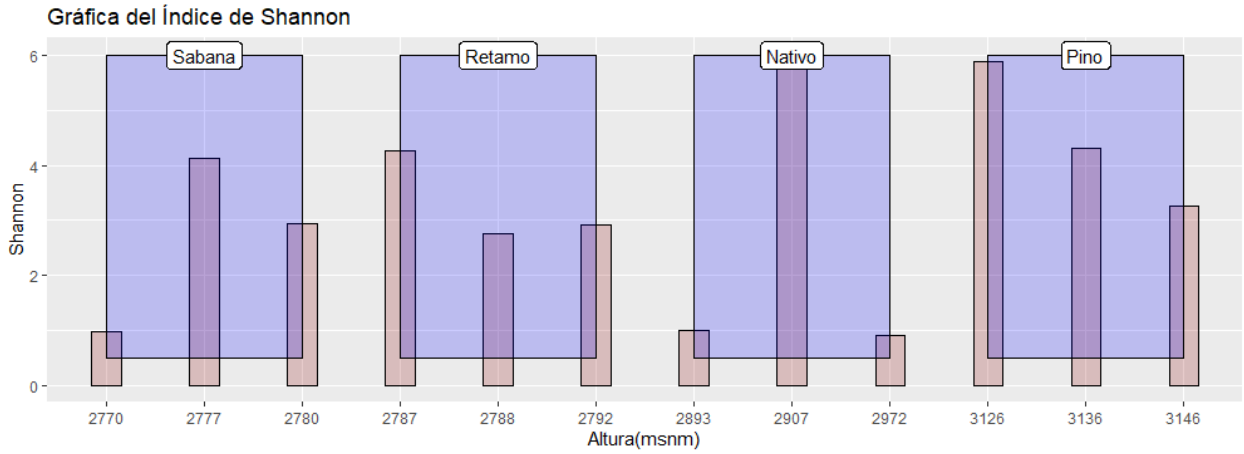
Gráfica U. Gráfica de Género y Cantidad de esporas. En el eje x encontramos la diferenciación de color por cada género en cada cobertura vegetal determinado por la cantidad de esporas.

En la (*Gráfica P*) se observa la misma cantidad de géneros los cuales están contrastados con el cambio altitudinal. Las alturas que más obtuvieron riqueza fue de 2907, con mayor

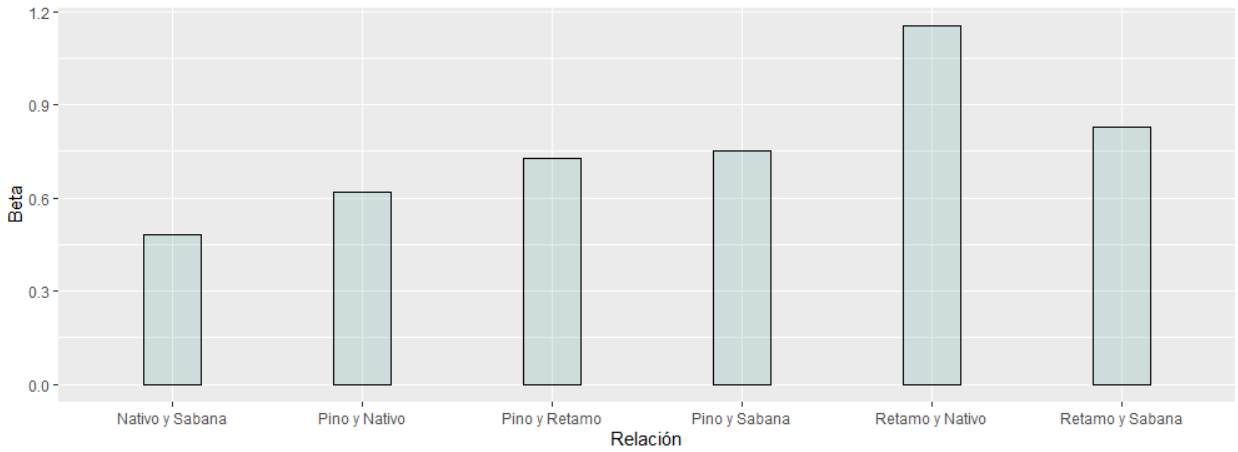
represntatividad de esporas, esta altura corresponde a la cobertura de bosque Nativo y de 3136 msnm, representa el bosque de Pino. Es importante resaltar como la altura de 2893 msnm tuvo solo un solo género, pero no asi, fuen unas de las que mayor representativasda en cantidad de esporas represento.



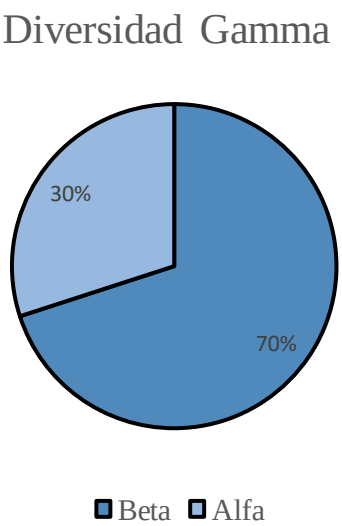
Gráfica P. Gráfica de los géneros encontrados con respecto a la cantidad de esporas en cada altura.



Gráfica Q. Gráfica de índice de Shannon en cada altura. Hay una diferenciación del tipo de coberturas.



Gráfica K. Gráfica de índice de Beta



Gráfica L. Gráfica tipo torta de la conformación de la diversidad gamma que nos muestra la diferencia de porcentajes dentro del paisaje.

9.5 Especies encontradas.

Dentro de la identificación de las diferentes especies que se realizó a partir de su morfología encontramos 27 especies, con 11 géneros, 5 familias y 4 ordenes (*Tabla P*). Encontramos que 16 de las 27 fueron espacies que se identificaron en anteriores estudios en los mismos sitios donde se realizaron las muestras de este estudio. Se puede observar que el género que tiene mayor cantidad de especies encontradas es *Acualospora* con con 10 grupos de epecies, el resto de géneros tiene un promedio de 2 a 3 especies. Esto concuerda con el número de especies encontradas en las tablas taxonomicas.

Orden	**Familia**	**Género**	**Especie**
Diversisporales	Acaulosporaceae	Acaulospora	Acaulospora tuberculata*
			Acaulospora spinosa*
			Acaulospora bireticulata*
			Acaulospora capsicula
			Acaulospora mellea*
			Acaulospora rehmii*
			Acaulospora colombiana*
			Acaulospora foveata*
			Acaulospora laevis*
			Acaulospora delicata*
		Entrophospora	Entrophospora infrequens*
	Diversisporaceae	Diversispora	Diversispora globifera
Glomerales	Glomeraceae	Rhizophagus	Rhizophagus aggregatus*
			Rhizophagus fasciculatus
			Rhizophagus sinuosa*

		Funneliformis	Funneliformis geosporum*
			Funneliformis mosseae*
		Septoglomus	Septoglomus constrictum
			Septoglomus viscosum
		Glomus	Glomus multicaule
			Glomus clavisporum
			Glomus coremioides
		Claroideoglomus	Claroideoglomus claroideum*
			Claroideoglomus luteum
Gigasporales	Gigasporaceae	Cetraspora	Cetraspora pellucida*
		Racocetra	Racocetra coralloidea
Paraglomerales	Paraglomeraceae	Paraglomus	Paraglomus occultum

Tabla C. Podemos ver las especies identificadas. * significa especies que fueron anteriormente identificadas en mismo lugar en anteriores estudios.

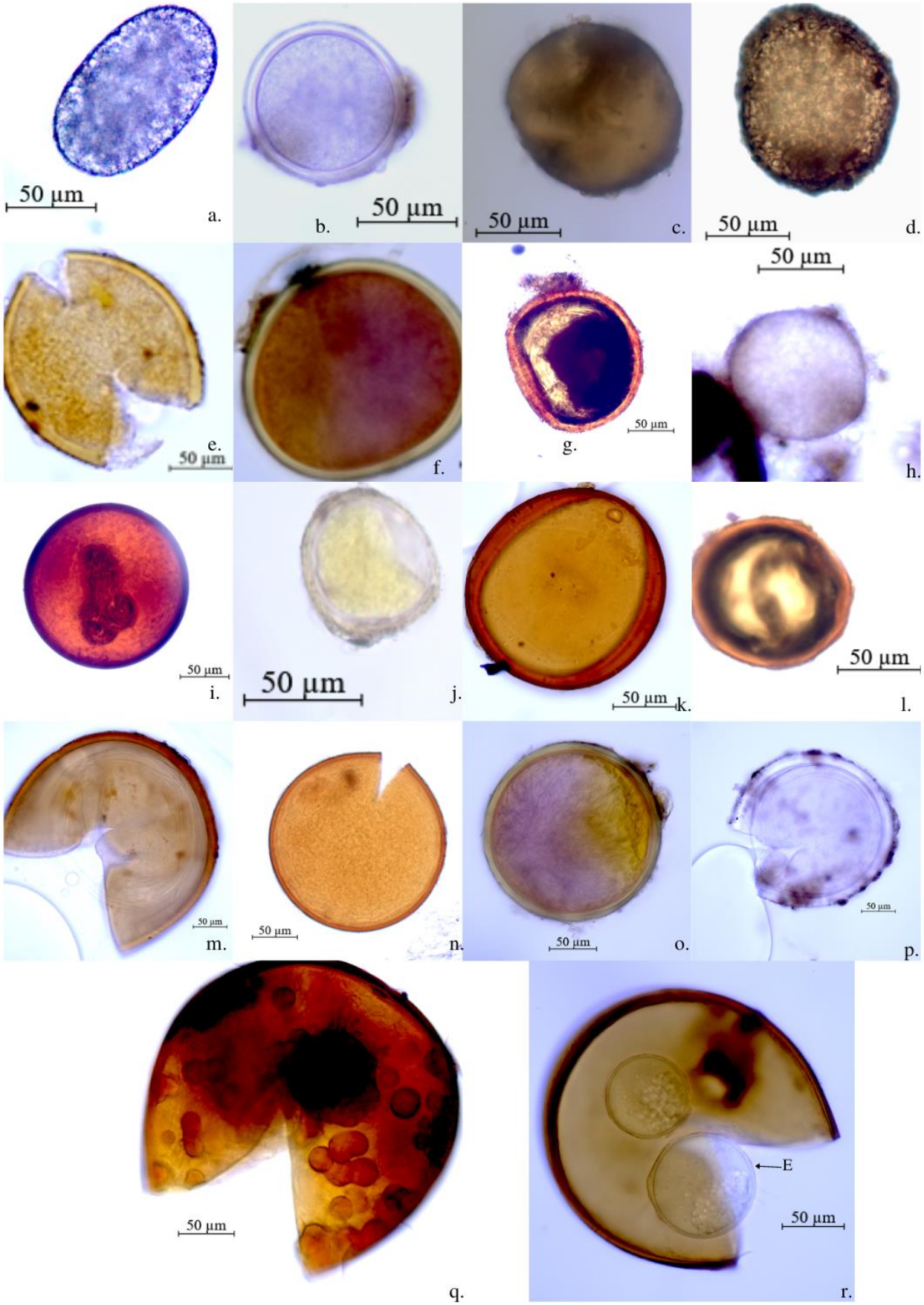

50 µm
a.
b.
c.
d.
e.
f.
g.
h.
i.
j.
k.
l.
m.
n.
o.
p.
q.
r.
E

Figura L. a) Cetraspora pellucida, b) Claroideoglomus luteum, c) Diversispora globifera, d) Entrophospora infrequens, e) Funneliformis geosporum, f) Glomus multicaule, g) Paraglomus occultum, h) Racocetra coralloidea, i) Rhizophagus aggregatus , j) Septoglomus constrictum, k) Glomus multicaule, l) Acaulospora foveata, m) Acaulospora laevis, n) o)Acaulospora tuberculata, p)Acaulospora rehmii, q) Claroideoglomus luteum, r) Acaulospora laevis. (E)espora en crecimiento.

10. Discusión.

10.1 La altura y Cantidad de Esporas.

Cuando se determina la cantidad de esporas relacionadas con diferentes variables que pueden ser determinantes para su comportamiento, se encuentra que la variavles que tuvo una mayor relevancia fue el cambio de altura, a diferencia de la cobertura vegetal, (*Gráfica B*). Es por ello, que se considera las características físicas o químicas del suelo como las variables determinantes del comportamiento de la comunidad de hongos. Los resultados obtenidos van a coincidir a la hipótesis inicial planteada que establece como el principal determinador, del cambio en la cantidad de esporas, las condiciones del suelo, en este caso la altura.

En los resultados obtenidos hay una relación proporcional, (Gráfica A.) entre el aumento de la altura, la humedad del suelo, y la compactación del mismo (Tabla B). La proporcionalidad concuerda a lo encontrado por Coba de Gutiérrez & Jorge, (1995) quienes, en la misma región de

la investigación actual, encontraron una correspondencia entre la humedad del suelo, producida por los regímenes de lluvias, y la cantidad de esporas. Este resultado, es contrario a lo planteado por García Romero, García Fernandéz, & Correa de Restrepo, (2004) quien plantea un aumento de esporas en épocas secas de menor humedad. Cabe aclarar que no se puede proponer que el factor climático es un limitante pues en esta investigación no estuvo como objetivo metodológico, y no hubo una comparación, en variables climáticas o regímenes de precipitación, que nos permitan contrastar con las variables encontradas.

En cuanto a la compactación del suelo, lo valores obtenidos no son significativos, aunque encontramos un aumento con respecto a la altura. Este factor no es decisivo para determinar su relación significativa con el cambio de la cantidad de esporas. Diferente a lo encontrado por Bautista & Jimenez (2008) donde, la compactación del suelo, es la variable limitante de propagación. Se puede inferir que la compactación del suelo no es la principal variable de cambio. Pues, la región donde se realizó la investigación no ha tenido una transformación, en los últimos años. Las perturbaciones en el área de investigación no han sido el principal agente de cambio en los suelos, como ya se mencionó antes en los diferentes diagnósticos, CAR(2009-2016),Alcaldia Mayor de Bogotá(2007), (Isaza Londoño, 2007) y García, (2016), la de nomicación de Reserva Protectora Ambiental permitio la concervación y regenración del bosuqe nátivo. En comparación con las otras coberturas vegetales, en el bosque nativo se observó un aumento proporcional y constante de la cantidad de esporas. Lo que nos demuestra que en condiciones homogéneos de cobertura vegetal se acentúa las características del suelo como factor determinante en el comportamiento de HFMA.

Esto quiere decir que los factores determinadores del cambio de esporas van a ser las características químicas. Esto concuerda con la hipótesis planteada, el cambio de PH es un factor determinante en la esporulación de los hongos micorrizicos. Se relaciona con lo planteado por Valencia, Murillo, & Moyano Yolanda (1995) que establecen que en el suelo de los Cerros Orientales disminuye el PH con el aumento de la altura. Si esto es cierto, y se ha mantenido en el tiempo, correspondería con lo planteado por Brundrett (2004), y en contradicción por Tirado (2017), donde el aumento de la acides es correspondido con el aumento de la altura. Entonces, existe una vinculación importante entre el PH, al cambio de la altura y el transporte de nutrientes. La solubilidad del Pi orgánico depende de PH de la rizósfera, como lo explica Johri, et al (2015), la solubilidad de en niveles alcalinos de PH no afecta el transporte de Pi. Mientras que en condiciones ácidas es necesario la implementación de la bomba de extrusión, utilizando energía, para que pueda ser absorbido el fósforo soluble. En otras palabras, a mayor altura disminuye la solubilidad de fosforo lo que aumenta la limitante de nutrientes para las plantas, incrementado sus necesidades fisiológicas con sus respectivas señalizaciones. Por consiguiente, aumentara la necesidad de esporulación.

Existen diferentes limitaciones a la hora del estudio por medio de la medición de la cantidad de esporas como variable para describir el comportamiento de HFMA. Puede ser que estas características no determinen la presencia de las poblaciones. Diferentes taxones tienen un proceso de esporulación muy diferentes, en consecuencia, no representa la totalidad de los hongos presentes en el sitio del muestreo. En cada tipo de hongo puede producir gran cantidad de esporas, pero pueden ser poco frecuentes las poblaciones en un sitio determinado (LEÓN, 2015).

Es por ello que es necesario, en las investigaciones al respecto, tener mayor cantidad de variables que ayuden a establecer la presencia de las poblaciones.

10.1.1 **Cobertura Vegetal y Cantidad de Esporas**

Cuando se determinó la relación entre la cantidad de esporas con la cobertura vegetal, el resultado obtenido no evidencio que tipo de cobertura vegetal es la que define los cambios en las comunidades microbianas. Como se observa en la *Gráfica B*, se muestra que los resultados se contraponen con la hipótesis en este trabajo de investigación. Esta, plantea que la variable categórica de los cambios en el gradiente de cantidad de esporas va a ser definido por la diversidad de la cobertura vegetal. En cambio, en lo observado, lo que indica los resultados es que tanto la cobertura del retamo como de Pastizal van a tener una diferencia significativa con la pareja de cobertura del bosque nativo y bosque de pino. Por lo que se enlaza a la anterior conclusión es que las características comunes que comparten cada una de las parejas es la altura en la que se encuentra.

Existe una limitante en cuanto al estudio e investigación de comunidades de HFMA en estado natural. Según Fernandez (2003) y Cuellar (2018) en condiciones naturales existen una gran cantidad de variables que van a afectar el desarrollo de proceso de seguimiento de estas comunidades por lo es necesario vincular elementos de análisis en el sitio como el seguimiento del comportamiento de las poblaciones en laboratorio.

10.3 **Colonización**

Por otro lado, la cuantificación de los porcentajes de colonización en raíces, en diferentes especies de plantas representativas del bosque nativo alto andino, dieron un resultado distinto a la hipótesis propuesta, (*Tabla C*). El aumento de los porcentajes de colonización no fue correspondido con el aumento de la altura, sino que tuvo diferentes respuestas al hospedero. En un primer resultado, se encuentra que los porcentajes de frecuencia de colonización son altos, pero no tienen un cambio significativo ni una contante, 40%, 100% y 80%. Lo que permite concluir que el cambio de altitud no es lo que determina el cambio en la frecuencia de colonización. Estos resultados tienen una correlación a lo expuesto por Wu (2007) y LEÓN (2015) quienes plantean que el proceso de esporulación no concuerda, en la mayoría de los casos, con los procesos de colonización. Esto quiere decir que la propagación y procesos de intercambio de nutrientes no son dependientes. Pues, la competencia dentro de las raíces genera un cambio constante de poblaciones de hongos que es diferente al comportamiento de propagación de estas poblaciones fuera de las células vegetales.

Al contrario de la frecuencia, la intensidad de la colonización micorrízica en el sistema radicular (M%) e intensidad de la colonización micorrízica en los fragmentos de la raíz (m%) demuestra que hay un gradiente altitudinal, una proporcionalidad de cremineto entre mayor altitud e intensidad. Con el aumento de limitantes del suelo se incrementa la necesidad de desarrollar relaciones simbióticas por medio de las micorrizas. Estos resultados confirman lo dicho por Vályi, Rillig, & Hempel (2015), donde establece que las plantas hospederas controlan el porcentaje de colonización por medio transportadores de membrana donde pueden contralar

los procesos de señalización. Esto, para que los hongos puedan establecer las primeras etapas de colonización, importante para el establecimiento y adaptación de poblaciones de hongos, como lo explica Wipf, Krajinski, Tuinen, Recorbet, & Courty (2019). El estudio de la intensidad nos permite proponer futuros estudios donde tenga como objeto la investigación de la intensidad de colonización con diferentes variables. Por ejemplo, ¿Cómo el cambio altitudinal puede ser un factor que determine la intensidad de colonización, y por ende, definirá el potencial de control contra la infección de parásitos invasores a las plantas hospedadoras ?,como lo explica Mondino, Thougnon Islas, & Covacevich(2019).

Cuando analizamos la abundancia de arbúsculos en el sistema radicular (A%), en donde se encontró porcentajes muy bajos de cuantificación de arbúsculos, lo cual no puede ser tomado como una variable significativa. Se infiere, que esto se produjo por la metodología elegida para la recolección de las raíces. Como es conocido por diferentes estudios, los arbúscuslos son una estructura que duran horas o muy pocos días en la epidermis de las raíces. Por procesos concernientes a la forma de recolecta no se colocaron inmediatamente en alcohol, lo que hubiera permitido que estas estructuras pudieran haber resistido a los cambios de gradientes hídricos y presiones osmóticas, para que los arbúsculos pudieran estar presentes a la hora de la identificación en el microscopio.

Con respecto a la abundancia de arbúsculos en partes micorrícicas de fragmentos de raíz (a%), encontramos que, si hubo una gran cantidad de arbúsculos, como se observa en la (*Figura K*), que pertenece a la planta hospedadora *Baccharis macrantha*. Este resultado tiene relación con el aumento de la altura. Pero como ya se mencionó con anterioridad, estos resultados no

pueden determinar un análisis significativo. Se puede inferir que la razón de la gran cantidad de arbúsculos puede estar relacionado con las condiciones de erosión del micro-ecosistema en que se encontraba las plantas donde se realizó el muestreo. Mostrando la relación entre condiciones de suelo y necesidades nutricionales.

Comparando lo encontrado en campo con diferentes estudios, se determinó que la especie de *Chusquea alskad* ha sido el objeto de investigación de diferentes estudios, en cuanto a colonización se refiere y en comparación con otras especies, donde demuestran que tiene porcentajes altos de colonización, como lo demuestraGarcía Romero, García Fernandéz, & Correa de Restrepo(2004).

10.4 Diversidad

En la indentidficación de la diversidad, riqueza y abundancia dentro de la xona de muestreo. Se propuso en un primermomento que la diversidad de la cobertura vegetal iba a terner una relación cimetrica con la diversidad de la comunidad de hongos micorrizógenos. Los resultados obtenidos concuerdan con la hip´tesis plnetadas, pues, como se observa en la *Gráfica U* , es la cobertura de bosuqe nativa, que en comparacion con als otras overuras, es la unica que tine una diversidad de plantas hospededoras. Y en consecuencia, tambien, concuerdo con la referencias consultadsas hospederos (Van der heijden et al,1998)(Kernaghan, 2005) (Chaurasia, Pandey, & Lok Man s, 2005) (Landis, Gargas, & Givnish, 2004) (López Botía & Peña, 2018). AL enconrrar una gras diversiadd, y comos eestablecio este zona de investigación tiene un tiempo de restauración considerable para que las relaciones simbioticas se desarrollaras como lo desarrollaron (Landis, Gargas, & Givnish, 2004)Estos resultados, enc ambio, contradicen los

expuessto por (Davison, Garcia de Leon, Zobel, Moora, & Bueno, 2020)(LEÓN, 2015)., quioen plantea que la diversidad en un bosque de plantas leñosas es menor que en uno de sabadana.

Frente al cambio altitudinal la diversidad de esporas tiene una marcada tendenai al incrementarse como se observa en la (Gráfica P). Al comparalr las dros grafcias de presencia de géneros por medio de la altura y los tipos de coberturas se presenta que la cobertura Nativa es representativa en mayor riqueza y abunddancia. Aunque (Chaurasia, Pandey, & Lok Man s, 2005) planete que con el aumento de la altura la diversidad disminuira, cabe a colación que le autor lo restringue a la correspondencia de aumento de la altura dimnicuín de la diversidad de la cobertura vegetal, por lo tanto no se distancia de lo que s eesta plantenado como conclusión de esta investigación.

10.5 Taxonomía

En cuanto a la identificación de grupos taxonómicos de HFMA en diferentes cambios altitudinales como de coberturas vegetales. Se propuso como hipótesis, que a partir de la ubicuidad y la poca especificidad de las relaciones micorrizógenas no se iba a encontrar una diferenciación significativa entre los grupos taxonómicos. Pero, lo que se encuentra en los resultados es contrario a lo propuesto en un primer momento. Si existe una diferencia significativa identificadas en géneros, o en familias, que tiene una correspondencia con estudios anteriores. Estos cambios fueron desarrollados relacionando variables de coberturas vegetales como cambios altitudinales.

En los resultados obtenidos de los géneros encontrados con respecto a coberturas vegetales (*Gráfica U*), se observa que hay una predominancia del género *Acualospora* en todas las coberturas, pero tiende a ser dominante en la cobertura de bosque nativo. A diferencia de los planteado por Landis, Gargas, & Givnish(2004), este género, si tuvo una preferencia por el bosque nativo, alto andino. Cuando observamos los resultados de los géneros encontrado, con respecto a la altura (*Gráfica P*), se encontró que *Acualospora* tiene dominancia en todas las alturas, y se obtuvo una dominancia absoluta en una altura de 2893 msnm. Esto se debe, como lo explica Lovera & Cuenca (2007) y van der Heyde (2017), a que la capacidad de reproducción en Acaulosporaceae en comparación a otros, tiene esporas pequeñas y el tamaño de las hifas también es pequeño lo que le permite adaptarse a los cambios bruscos del suelo. Otra razón que podría explicar los resultados que se obtuvieron, es la diferenciación taxonómica. Cuando comparamos la cantidad de especies que tiene el género *Acualospora* tiene una gran cantidad de especies en comparación a los otros géneros, como lo muestra los bancos de datos West Virginia University, (2017), lo que produce que las probabilidades aumenten que los grupos identificados pertenezcan a esta taxa.

Para el género *Glomus* se encontró en la (*Gráfica U*) que este género tuvo una representación alta en las coberturas de Pino y bosque Nativo. El común denominar que agrupa estas dos coberturas es la altura en la que se encuentra, algo que se corrobora en la (*Gráfica P*) , donde la representatividad que encontramos va a estar limitada a mayores alturas. Esto, se puede explicar por lo planteado por Landis, Gargas, & Givnish(2004) y LEÓN(2015) que plantean que este género es sensible a los cambios químicos del suelo, pero tiene una resistencia particular

a las perturbaciones físicas . Estas características explican de qué manera, aunque hay un aumento de la representatividad a mayor altura, no tiene el mismo nivel de dominancia que otras porque a medida que aumenta la altura la disposición de recursos va disminuyendo, Y, por consiguiente, una variable limitante para este género. Además, las diferencias de características físicas, principalmente en cuanto a la compactación del suelo, no son significativos ni representan una perturbación en sí, entendida como cambios bruscos del suelo, que permita a este género ser dominante (Landis, Gargas, & Givnish, 2004). Según lo expuesto anteriormente, la característica de reproducción del género *Glomus,* al tener una facilidad en la esporulación, permite que sea rápidamente adaptable a los cambios bruscos. Por lo tanto, como no se encuentra perturbaciones en el sitio de investigación la no se encuentra dominancia de este género en particular.

Otro de los taxones más representativo, es el género *Claroideoglomus*, tiene un comportamiento parecido a *Acualospora*, en consecuencia, tiene presencia en todas las cobertura vegetales, con una dominancia en la cobertura de bosque Nativo, como se observa en la (*Gráfica U*) . En cuanto a la relación con la altura, no se pudo observar una diferencia significativo, aunque si existe en los resultados una tendencia a ser más dominante a menor altura, no son datos que puedan explicar un comportamiento, como se observa en la (*Gráfica P*) . Las características son parecidas al género *Glomus* al tener la misma familia Glomeraceae.

Por último, el género que tuvo otra representatividad fue *Cetraspora* , que pertenece a la familia de Gigasporaceae. Aunque tuvo una presencia en la mayoría de las coberturas vegetales, su abundancia, en cuanto a cantidad de esporas fue bastante reducida, como se observa en la

(*Gráfica U*). No tuvo una relación significativa con el cambio de altura. Esto podría deberse a que, según van der Heyde(2017), las características reproductivas de esporulación, al producir un gran tamaño en sus esporas, es un inconveniente en la adaptación rápida ante las perturbaciones. Pero, por otro lado, le permiten que su propagación sea de manera más uniforme. Aunque, según LEÓN(2015), esta familia se encuentra en ecosistemas estables y diversos, sus características reproductivas fueron la mayor variable limitante. Si bien, estos resultados son válidos, como se demostró anteriormente, la presencia de esporas no determina la ubicación y tamaño de las poblaciones.

Se agrupó los géneros más dominantes en tres familias representativas: Acaulosporaceae, Glomeraceae y Gigasporaceae. Los resultados obtenidos, en cuanto a la dominancia, concuerda con los antecedentes consultados. Son justo estas familias las que comparten características de adaptación a los cambios bruscos, como de largo plazo en el suelo, como lo desarrolla Monroy Ata & Yadira Ramírez (2018). Se puede concluir que estas tres familias son las más dominantes en las comunidades de HFMA cuando se compara con cambios en los ecosistemas dentro del paisaje de los Cerros Orientales. Hay diferencias de comportamiento, las familias Acaulosporaceae y Glomeraceae son más dominantes que la familia Gigasporaceae. Esto se debe a que, como ya se expuso, a las características de esporulación y ciclo de vida. Y, en comparación, Acaulosporaceae y Glomeraceae son más resistentes a la acidez del suelo.

Como se observa en la (Tabla C) las especies encontradas muestra que el 59% de las especies encontradas ya habían sido reportadas por Coba de Gutiérrez & Jorge, (1995) en la

misma zona de estudio. Esto, no muestra una concordancia histórica de las comunidades encontradas y una comprobación taxonómica sobre las comunidades en el paisaje estudiado.

Ahora, dentro de la identificación taxonómica de los HFMA encontramos diferentes limitantes. En cuanto al método utilizado podríamos discernir que la morfología de las esporas es insuficiente si no se tiene en cuenta identificaciones genéticas que puedan constatar la con las secuenciaciones del ARN-ribosomal. Aunque, con los las bases de datos y herramientas que se utilizaron, como lo fue West Virginia University, (2017) y Oehl, Sieverding, Palenzuela, Ineichen, & Alves da Silva, (2011), que permiten relacionar las especies genéticamente identificadas con las características morfológicas, no es completamente seguro identificar estos individuos. Este sesgo, y aunque las secuencias genéticas han aportado un mayor entendimiento, deja al descubierto un debate aún mayor. No se ha llegado a un consenso en cuanto a la identificación de los límites de un individuo, especie o comunidad por las características propias de los HFMA, como lo establece Rosendahl (2008) y Wipf, Krajinski, Tuinen, Recorbet, & Courty (2019). Y, por lo tanto, la identificación de taxones en estas especies es aún muy ambigua.

11. Conclusiones

1. El cambio altitudinal es el principal factor que determina los cambios de las comunidades de HFMA caracterizada por la cuantificación de esporas. En comparación a los cambios producidos por las diferentes coberturas vegetales, lo que determino el cambio fue el gradiente altitudinal proporcionalmente al aumento de la

cantidad de esporas, aumento de la humedad, y por ende disminución de la temperatura del suelo. En estos elementos físicos la compactación del suelo no va a ternes cambios significativos por ser una zona con una baja o nula perturbación lo que muestra que son las características químicas, en el cambio altitudinal, lo que será el factor de cambio para las comunidades de HFMA.

2. Los procesos de esporulación no concuerdan directamente con la capacidad de colonización de los HFMA. La cantidad de esporas encontradas no tuvo una relación directa con la frecuencia de colonización evidenciado que la variable que determina el proceso de colonización es con el tipo de hospedero o cobertura vegetal. Aunque, la frecuencia no tuvo concordancia con el cambio altitudinal, si existió relación en la intensidad de colonización, demostrando una diferenciación entre los diferentes porcentajes con el estrés producido por la baja solubilidad de nutriente en mayores alturas promoviendo las necesidades de interacciones micorrízicas.

3. La diversidad en comunidades de HFMA tiene una relación directa con el aumento de la diversidad en las coberturas vegetales. Es en la cobertura de bosque Nativo, donde se encontró mayor cantidad de géneros demostrando la relación directa entre las dos diversidades de los grupos simbióticos. Evidencia la importancia que tiene el estudio del comportamiento de las micorrizas en la restauración de la reserva protectora ambiental. El aumento de la diversidad de HFMA permitirá un establecimiento de procesos sucecionales pioneros.

4. Acaulosporaceae, Glomeraceae y Gigasporaceae fueron las familias que más dominaron en el área de investigación. Esto, se debió a las características mismas de reproducción y comportamiento. Existe una diferencia entre el comportamiento de estas familias. Acaulosporaceae y Glomeraceae, por sus características de rápida esporulación que permiten terner resistencia ante perturbaciones, mientras que Gigasporaceae, por sus esporas gran tamaño, no tiene una de esporulación rápida, pero si se considera como un grupo que permite tener una gran colonización y resistencia en el tiempo.

12. Recomendaciones

Cabe recalcar, que el estudio de componentes químicos no se realizó por condiciones materiales producidas por la pandemia en momentos de escribir esta investigación, por lo que no podemos refutar estos datos y queda como problema de investigaciones futuras.

La importancia de este trabajo de investigación nos permite dilucidar la fragilidad del ecosistema de los cerros orientales. Por un lado, en este estudio no se puede evaluar la capacidad de los HFMA ante perturbaciones pues no se considera cambios al suelo en tiempos cortos, pero si nos permite comprender la composición de estos organismos con el ecosistema. Esto nos permite inferir que dicho ecosistema es muy frágil y en los cambios en el ecosistema, específicamente disturbios antropogenos, pueden generar interr upción en la restauración del ecosistema, que, por su historia ambiental, se ha construido como un ecosistema degradado. Todo disturbio, por pequeño que sea, puede generar cambios irreparables en la restauración del bosque.

E s necesario que en estos estudios es fundamental el análisis de las características químicas del suelo, como los cambios producidos por el ambiente, específicamente los datos producidos por la precipitación.

Para el análisis y estudio de HFMA se debe tomar diferentes variables, esporas, colonización, identificación molecular, comportamiento con el medio, etc. Esto porque al ser tan variables para que el dato puede tener un valor significativo en las comunidades microbianas del suelo.

Es importante determinar como el la cobertura de Bosque de Pino, a pesar del tiempo y las características propias de ser un cultivo de *Gimnosperma*, se encontró gran cantidad de esporas y de taxones. El estudio de la presencia de HFMA en coberturas de plantas no micorrizógenas arbúsculares es importante determinar las relaciones con estas

Aunque es necesario que las siguientes investigaciones relacionen la identificación de las esporas en diferentes métodos, identificación morfología de esporas, identificación morfológica de colonización e identificación genética. Es necesario enfocarse en elementos concerniese en campos disciplinarios fura de la biología misma.

Para el estudio del comportamiento de los HFMA es necesario integrar diferentes metodologías que permitan entender la manera que los diferentes propágulos del hongo de ven afectados por los factores internos o externos. Para el estudio, en estos momentos, de las micorrizas arbúsculares es necesario vincular diferentes metodologías que agrupan elementos

nuevos con los ya existentes, la vinculación entre el estudio de las esporas y la colonización con elementos de estudios identificación genética.

13. Referencias

Johri, A. K., Oelmüller, R., Dua, M., Yadav, V., Kumar, M., Tuteja, N., . . . Stroud, R. M. (2015). Fungal association and utilization of phosphate by plants: success, limitations, and future prospects. *Front. Microbiol*.

Phillips, J., & Hayman, D. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* , pp.158-161.

Averill, C. (2014). Mycorrhiza-mediated competition between plants and decomposers drives soil carbon storage. *NATURE*.

Bautista , Y., & Jimenez , J. G. (2008). *Estudio de la micorriza arbuscular en suelos de cinco estados sucesionales del bosque altoandino, Cárpatos, Cundinamarca* . Bogotá: Universidad Dsitrital Francisco Jose de Caldas.

BD, T. (2007). Ectomycorrhizal fungal succession in mixed temperate forests. *Nueva Phytol.*

Bécard, G., & Pfeffer , P. E. (1993). Status of nuclear division in arbuscular mycorrhizal fungi during in vitro development. *Protoplasma, 174*, 62-68.

Bonfante, P. (2018). The future has roots in the past: the ideas and scientists that shaped mycorrhizal research. *New Phytologist*, 220: 982-995.

Calderón Patrón, J. M., Moreno, C. E., & Zuria, I. (2012). La diversidad beta: medio siglo de avances. *Rev. Mex. Biodiv.*, pp.879-891.

Camarena Gutiérrez , G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Chapingo*.

CAMELO SALAMANCA, D. (2015). *Evaluación del estado sucesional actual de las áreas restauradas y con invasión previa de Ulex europaeus L. en los Cerros Orientales de Bogotá.* Bogotá: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.

CAR. (2006). *PLAN DE MANEJO DE LA RESERVA FORESTAL PROTECTORA.* Bogota: CAR.

CAR. (2009). *Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá- Inventario de Fauna.* Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR.

CAR. (2009). *Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá- Inventario de Fauna.* Bogota : CAR.

CAR. (2016). *MODIFICACIÓN AL PLAN DE MANEJO RESERVA FORESTAL PROTECTORA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ.* Bogota DC: CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA-CAR.

Cavelier, J., & Santos, C. (1999). Efectos de plantaciones abandonadas de especies exóticas y nativas sobre la regeneración natural de un bosque montano en Colombia. *Revista de*

Biología Tropical, Rev. biol. trop [online]. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77441999000400014

Chaurasia, B., Pandey, A., & Lok Man s, P. (2005). Distribution, colonization and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with central Himalayan rhododendrons. *Forest Ecology and Management 207*, 315–324.

Coba de Gutiérrez, B., & Jorge, C. (1995). Reconocimiento de micorrizas vesículo arbusculares (MVA) en el páramo y bosque altoandino de la región de Monserrate. En L. Mora Osejo, & H. Sturm, *ESTUDIOS ECOLOGICOS DEL PARAMO Y DEL BOSQUE ALTOANDINO CORDILLERA ORIENTAL DE COLOMBIA* (págs. 439-448). Bogota D.C: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

CORNELIA I, U.-E., NOVACKY, A., FISCHER, E., & LUTTGE, U. (1981). Relationship between Energy-dependent Phosphate Uptake and the Electrical Membrane Potential in Lemna gibba G1. *Plant Physiol*, 797-801.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA-CAR. (2016). *MODIFICACIÓN AL PLAN DE MANEJO RESERVA FORESTAL PROTECTORA BOSQUE ORIENTAL DE BOGOTÁ.* Bogotá: CAR.

Courty, P. E., Smith, P., Koegel, S., Redecker, D., & Wipf, D. (2015). Inorganic Nitrogen Uptake and Transport in Beneficial Plant Root-Microbe Interactions. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 4–16.

Cuellar Mayorga, A. P. (2018). *PRESENCIA DE HONGOS MICORRÍZICO ARBUSCULARES EN TRES DIFERENTES ZONAS DE BOSQUE ALTOANDINO.* Bogota: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS .

Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., & Flores , G. (2000). *Biología Sexta Edición en Español.* Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana.

Davison, J., Garcia de Leon, D., Zobel, M., Moora, M., & Bueno, G. (2020). Plant functional groups associate with distinct arbuscular mycorrhizal fungal communities. *New Phytologist, 226*, 1117–1128.

DE PRAGER, M. S. (2007). *LAS ENDOMICORRIZAS: EXPRESIÓN BIOEDÁFICA DE IMPORTANCIA EN EL TRÓPICO.* Palmira: Impresora Feriva S.A.

DOERR, T. B., REDENTE, E. F., & REEVES , F. B. (1984). Effects of Soil Disturbance on Plant Succes- sion and Levels of Mycorrhizal Fungi in a Sagebrush-Grassland Community. *JURNAL OF RANGE MANAGEMENT, 37*.

Engel, S. (2014). *¡Alarma Catástrofe! ¿Qué hacer contra la destrucción deliberada de la unidad entre el ser humano y la naturaleza?* Bogotá: Verlag Neuer Weg.

FAO. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo- Resumen Técnico.* Roma: Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia.

Fellbauma, C. R., Gachomoa, E. W., Beesettyb, Y., Choudharib, S., Strahanc, G. D., Pfefferc, P. E., . . . Bückinga, H. (2012). Carbon availability triggers fungal nitrogen uptake and transport in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *PNAS*, 2666–2671.

FÜZY, A., BIRÓ, I., KOVÁCS, R., & TAKÁCS, T. (2015). ESTIMATION OF AM FUNGAL COLONIZATION – COMPARABILITY AND RELIABILITY OF CLASSICAL METHODS. *Akadémiai Kiadó*, pp. 435–451 .

Garcia , K., Doidy, J., Zimmermann, S., Wipf, D., & Courty, P. E. (2016). Take a Trip Through the Plant and Fungal Transportome of Mycorrhiza. *Trends in Plant Science*.

García Moreno, R. S., & Guerrero Vargas, C. A. (2016). *PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES, ACTUACIÓN INSTITUCIONAL, RESERVA FORESTAL PROTECTORA BORDE ORIENTAL DE BOGOTÁ.* Bogotà: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

García Romero, J. F., García Fernandéz, D. C., & Correa de Restrepo, M. (2004). Incidencia de las Micorrizas Arbusculares y Vesículos Arbusculares como estrategia adaptativa de especies de páramo y selva Altoandina, Cordillera Oriental de Colombia. *Colombia Forestal*, 43-59.

Gerdemann, J., & Nicolson, T. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 235-244.

Halffter, G., & Moreno , C. E. (2005). SIGNIFICADO BIOLÓGICO DE LAS DIVERSIDADES ALFA, BETA Y GAMMA. *Departamento de Biodiversidad y Ecología Animal* .

IDEAM. (19 de marzo de 2019). *TIEMPO Y CLIMA*. Obtenido de PRECIPITACIÓN DIARIA EN MILÍMETROS: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/precipitacion-diaria-milimetros

Intituto Geográfico Agustin Codazzi. (1995). *Plioceno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y Alrededores.* Bogotá: Intituto Geográfico Agustin Codazzi.

Isaza Londoño, J. L. (2007). *LOS CERROS: PAISAJE E IDENTIDAD CULTURAL Identificación y valoración del patrimonio ambiental y cultural de los cerros orientales en Santa Fe de Bogotá.* Bogotá: Centro de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura.

JASPER, D. A., ABBOTT , L. K., & ROBSON, A. D. (1991). The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soils from different vegetation types. *New Phytol*, 471-476.

KOSKE , R. E., & GEMMA , J. N. (1989). A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research*, Pages 486-488.

Krajinski, F., Courty, P. E., Sieh, D., Franken, P., Zhang, H., Bucher, M., . . . Hause, B. (2014). The H+-ATPase HA1 of Medicago truncatula Is Essential for Phosphate Transport and

Plant Growth during Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. *American Society of Plant Biologists*.

Lahmidi, N. A., Emmanuel Courty, P., Brulé, D., Chatagnier, O., Arnould, C., Doidy, J., . . . Bonneau, L. (2016). Sugar exchanges in arbuscular mycorrhiza: RiMST5 and RiMST6, two novel Rhizophagus irregularis monosaccharide transporters, are involved in both sugar uptake from the soil and from the plant partner. *Elsevier Masson SAS*, 354-363.

Landis, F. C., Gargas, A., & Givnish, T. J. (2004). Relationships among arbuscular mycorrhizal fungi, vascular plants and environmental conditions in oak savannas. *New Phytologist, 164*, 493-504.

Lara Pérez, L. A., Noa-Carrazana, J. C., Landa López, Á. d., Hernández González, S., Oros Ortega, I., & Andrade Torres, A. (2014). Colonización y estructura de la comunidad de hongos micorrízicos arbusculares en Alsophila firma (Cyatheaceae) en bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, pp.1609-1623. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v62n4/a27v62n4.pdf

LEÓN VELANDIA, D. (2015). *COMUNIDADES NATIVAS DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES ASOCIADAS A YUCA SILVESTRE EN LA AMAZONIA COLOMBIANA EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA BAJO DOS TIPOS DE PAISAJE (DENUDACIÓN Y LLANURA ALUVIAL).* BOGOTÁ D.C: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.

López Botía, F., & Peña, D. Y. (2018). Presencia de esporas de hongos micorrízico arbusculares en cinco estados sucesionales de bosque altoandino colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*.

Lovera, M., & Cuenca, G. (2007). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (hma) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la gran sabana, venezuela. *Interciencia*, 108-114.

Mondino, E. A., Thougnon Islas, A. J., & Covacevich, F. (2019). Potencialidad en el control de infección de nematodos en tomate por hongos micorrícicos arbusculares nativos. *Horticultura Argentina*, *38*, 1851-9342.

Monika, G. (2015). Monika A. Gorzelak , Amanda K. Asay , Brian J. Pickles y Suzanne W. Simard. *AoB Plants*.

Monroy Ata, A., & Yadira Ramírez, K. (2018). Relación entre sucesión ecológica vegetal y hongos micorrizógenos arbusculares en un matorral xerófilo en el centro de México. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 13-29.

Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad.* Zaragoza: M&T–Manuales y Tesis SEA.

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. *Rev. Mex. Biodiv*, *28*, 1249-1261.

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. *Rev. Mex. Biodiv*, 1249-1261.

Oehl, F., Sieverding, E., Palenzuela, J., Ineichen, K., & Alves da Silva, G. (2011). Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus*, 191–199.

PALACIO, F. X., APODACA, M. J., & CRISCI, J. V. (2020). *ANÁLISIS MULTIVARIADO PARA DATOS BIOLÓGICOS Teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R.* Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara.

Pither, J. (2018). Below-ground biotic interactions moderated the postglacial range dynamics of trees. *Centaur*.

Pla, L. (2006). BIODIVERSIDAD: INFERENCIA BASADA EN EL ÍNDICE DE SHANNON Y LA RIQUEZA. *Interciencia*, 0378-1844. Obtenido de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442006000800008&script=sci_arttext

Pla, L. (2006). BIODIVERSIDAD: INFERENCIA BASADA EN EL ÍNDICE DE SHANNON Y LA RIQUEZA. *INCI, Vol.31*, pp. 583-590.

PULIDO SIERRA, S. I., & ROJO ALBORECA, A. (2017). ¿Cumplió el eucalipto su ciclo en los Cerros Orientales de Bogotá? *7°Congreso Forestal Español- Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía.* Cáceres.

Redecker, D., Kodner, R., & Graham, L. E. (2000). Glomalean Fungi from the Ordovician. *SCIENCE*. Obtenido de https://science.sciencemag.org/content/289/5486/1920?ijkey=ac7f4bdd91b42ac5711601e6bf83b3c75b5c5f66&keytype2=tf_ipsecsha

Redondo, L. (2012). Caracterización de las micorrizas nativas en agraz Vaccinium meridionale Swartz y evaluación de su efecto sobre el crecimiento plantular. *bdigital*.

Romero. (2004). Incidencia de las micorrizas arbusculares y vesículo arbusculares como estrategia adaptativa de especies de páramo y selva altoandina, cordillera oriental de Colombia. *Colombia Forestal*.

Rosendahl , S. (2008). Communities, populations and individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*.

Salmerón Santiago, I. A., Pedraza Santos, M. E., Mendoza Oviedo, L. S., & Chávez Bárcenas, A. T. (2015). CRONOLOGÍA DE LA TAXONOMÍA Y CLADÍSTICA DE LOS GLOMEROMICETOS. *Fitotec*, Vol. 38 (2): 153 - 163.

Salmeròn Santiago, I., Pedraza Santos, M., Mendoza Oviedo, L., & Chàvez Bàrcenas, A. (2015). CRONOLOGÍA DE LA TAXONOMÍA Y CLADÍSTICA DE LOS GLOMEROMICETOS. *Rev. Fitotec*, 153-163.

Santos Moreno, J. (2015). Ríos San Francisco y San Agustín: ejes de memoria e historia de la ciudad de Bogotá, Colombia. *REVISTA DE MUSEOLOGÍA*, Págs 92-107.

Schnoor, T. K., Lekberg, Y., Rosendahl, S., & Olsson , P. A. (2011). Mechanical soil disturbance as a determinant of arbuscular mycorrhizal fungal communities in semi-natural grassland. *Mycorrhiza 21*, 211–220.

Schubler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *The British Mycological Society*.

Secretaria de planeación-Aldaldia mayor de bogota. (2007). *LOS CAMINOS DE LOS CERROS.* Bogotá: Secretaria de Planeacaión.

Song. (2010). Comunicación interplantar de plantas de tomate a través de redes micorrizas comunes subterráneas. *plos one*.

Soudzilovskaia, N. A., Vaessen, S., Barcelo, M., He, J., Rahimlou, S., Abarenkov, K., . . . Tedersoo, L. (2020). FungalRoot: global online database of plant mycorrhizal associations. *New Phytologist*. Obtenido de https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.16569

Spatafora, J., Chang, Y., Benny, G., Lazarus, K., & Smith, M. (2016). A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*, 1028-1046.

Strullu Derrien, C., Selosse, M. A., Kenrick, P., & Martin, F. M. (2018). The origin and evolution of mycorrhizal symbioses: from palaeomycology to phylogenomics. *New Phytologist*. Obtenido de https://doi.org/10.1111/nph.15076

Suzanne, S. (2009). Access to mycorrhizal networks and roots of trees: importance for seedling survival and resource transfer. *ecology*.

Taylor, J. W., Hann-Soden, C., Branco, S., & Sylvain, ,. (2015). Clonal reproduction in fungi. *PNAS*, 8901–8908.

Tedersoo, L., Sànchez Ramirez, S., Kõljalg, U., Bahram, M., & Döring, M. (2018). High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*, 135-159.

Tirado Ardila, P. A. (2017). *PRESENCIA DE ESPORAS DE HONGOS MICORRICÍCO ARBUSCULARES EN SUELOS DEL BOSQUE ALTO ANDINO, PARQUE NATURAL CHICAQUE* . Bogota : UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Urrego, G. C. (1990). *EVIDENCIAS CULTURALES DURANTE EL PLEISTOCENO Y HOLOCENO DE COLOMBIA.* Bogotá: Revista De Arqueología Americana.

Valencia, H., Murillo, M., & Moyano Yolanda. (1995). Micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) asociadas con tres especies nativas de páramo y bosque altoandino de la región de Monserrate, Colombia. En H. Sturm, & L. E. Mora Osejo, *ESTUDIOS ECOLOGICOS DEL PARAMO Y DEL BOSQUE ALTOANDINO CORDILLERA ORIENTAL CORDILLERA ORIENTAL Tomo II* (págs. 449-455). Bogaa D.C: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Vályi, K., Rillig, M. C., & Hempel, S. (2015). Land-use intensity and host plant identity interactively shape communities of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of grassland plants. *New Phytologist, 205*, 1577–1586 .

van der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse , M. A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*. Obtenido de https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.13288

van der Heyde, M., Ohsowski, B., Abbott, L. K., & Hart, M. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungus responses to disturbance are context-dependent. *Mycorrhiza*(27), 431–440.

Vierheilig, H., Coughlan, A. P., Wyss, U., & Piché, Y. (1998). Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi. *Appl Environ Microbiol*, 5004–5007.

Vigneron, N., Delaux, P. M., & Radhakrishnan, G. V. (2018). What have we learnt from studying the evolution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis? *ScienceDirect*, 49–56. Obtenido de www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526617301127?via%3Dihub

Villegas Ríos, M., & Cifuentes, J. (2004). Las micorrizas en la evolución de las plantas. *Ciencias , 73*. Obtenido de https://www.revistaciencias.unam.mx/es/80-revistas/revista-ciencias-73/654-las-micorrizas-en-la-evolucion-de-las-plantas.html

Walter, Christopher Mize, Carl Jr, & Harold. (1982). Populations of endogonaceous fungi at two locations in central Iowa. *Canadian Journal of Botany*, 2518-2529.

Wang, B., & Qiu, Y. L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*(16), 299–363. Obtenido de https://doi.org/10.1007/s00572-005-0033-6

Werner, G. D., & Kiers, E. T. (2014). Order of arrival structures arbuscular mycorrhizal colonization of plants. *The Authors New Phytologist*.

West Virginia University. (2017). Obtenido de INVAM: http://fungi.invam.wvu.edu/

Wilkinson, D. M. (2001). Mycorrhizal evolution. *TRENDS in Ecology & Evolution*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169534700020711

Wipf, D., Krajinski, F., Tuinen, D., Recorbet, G., & Courty, P.-E. (2019). Trading on the arbuscular mycorrhiza market: from arbuscules to common mycorrhizal networks. *New Phytologist*.

Wu, B., Hogetsu, T., Isobe , K., & Ishii , R. (2007). Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in a primary successional volcanic desert on the southeast slope of Mount Fuji. *Mycorrhiza*, 495–506.