

**ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS
ARBUSCULARES (HFMA) ASOCIADAS A LA VEGETACIÓN CIRCUNDANTE EN UN
ÁREA DE MINERÍA DEL MUNICIPIO DE SANTA-ISABEL, TOLIMA**

**HERIK JOHAN GUZMÁN LASSO
YESSICA LORENA PERDOMO USECHE**

**Trabajo de grado como requisito parcial para optar el título de
Biólogo**

**DIRECTOR
MARYEIMY VARÓN LÓPEZ
Doctor en Ciencias**

**CODIRECTOR
HILDA ROCÍO MOSQUERA
Doctor en Ciencias- Biológicas**

**UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
FACULTAD DE CIENCIAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA**

2017



FACULTAD DE CIENCIAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES (HFMA) ASOCIADAS A LA VEGETACIÓN CIRCUNDANTE EN UN ÁREA DE MINERÍA DEL MUNICIPIO DE SANTA-ISABEL, TOLIMA

AUTORES YESSICA LORENA PERDOMO USECHE 0701 5054 2011
HERIK JOHAN GUZMAN LASSO 0701 0063 2012

DIRECTOR MARYEIMY VARON LOPEZ

JURADOS JORGE ARTURO ROMERO
URLEY ADRIAN PEREZ

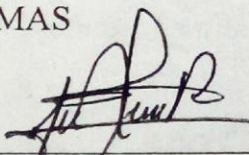
CALIFICACIÓN 4.7

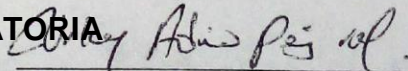
APROBADO

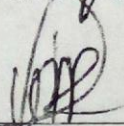
REPROBADO

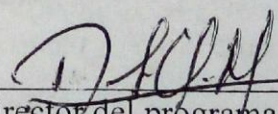
OBSERVACIONES _____

FIRMAS


JURADO 1.

DEDICATORIA 
JURADO 2.


Director del trabajo


Director del programa (ad hoc).

Ciudad y fecha: Ibagué, 23 de junio de 2017

*A nuestras familias que fueron nuestro más grande apoyo y
al amor que nos permitió superar cada adversidad.*

AGRADECIMIENTOS

A nuestra directora, la Doctora Maryeimy Varón, por su valioso compromiso, dedicación y paciencia en cada etapa del proyecto.

A la Doctora Hilda Rocío Mosquera, codirectora del proyecto, por su guía y amable acompañamiento.

Al grupo de investigación GEBIUT, por su colaboración y gran orientación en el desarrollo del trabajo.

A los funcionarios de la mina de Santa Isabel por el acompañamiento y por permitirnos realizar la toma de muestras.

Al Magister Urley Adrián Pérez, por su amable orientación en la taxonomía y manejo de los HFMA.

A nuestras compañeras y amigas Lily Julieth Vargas y Lizeth Ospina, por su respaldo y apoyo en el proceso de investigación.

A nuestros amigos por su comprensión, valiosas ideas, y apoyo en diferentes procesos del trabajo.

A la Universidad del Tolima y la oficina de investigaciones, por la financiación del proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. MARCO TEORICO	15
2.1. LA MINERÍA EN LA ACTUALIDAD.....	15
2.2. IMPACTOS DE LA MINERIA SOBRE EL SUELO Y LA VEGETACIÓN	17
2.3. VEGETACIÓN ASOCIADA A ÁREAS DE MINERÍA.....	18
2.4. HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES (HFMA) ASOCIADOS A ÁREAS DEGRADADAS	19
2.5. ESTUDIOS DE DIVERSIDAD EN VEGETACIÓN Y HFMA EN ZONAS INTERVENIDAS.....	21
3. MATERIALES Y METODOS	24
3.1. ÁREA DE ESTUDIO Y ZONAS DE MUESTREO.....	24
3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO.....	25
3.3. CARACTERIZACIÓN VEGETAL.....	25
3.4. AISLAMIENTO, CUANTIFICACIÓN Y MULTIPLICACIÓN DE ESPORAS DE HFMA... ..	26
3.5. IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS HFMA.	26
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	27
4. RESULTADOS Y DISCUSION	28
4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SUELOS	28
4.2. CARACTERIZACIÓN VEGETAL.....	33

4.2.1. Riqueza y abundancia florística.....	33
4.2.2. Índices de diversidad:.....	40
4.2.3. Especies potenciales para iniciar un plan de recuperación en la zona	42
4.3. IDENTIFICACIÓN DE HFMA	42
4.3.1. Riqueza y abundancia de esporas de HFMA.	43
4.3.2. Frecuencia de ocurrencia de los HFMA.	47
4.3.3. Influencia de los factores fisicoquímicos sobre los HFMA.....	49
4.3.4. Especies de HFMA potenciales para iniciar un plan de recuperación en la zona.....	52
5. CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sitios de muestreo: Área de depósitos mineros (SI-M), Área de inicio de sucesión vegetal (SI-SV) y Área sin intervención minera (SI-N).	25
Figura 2. Parámetros fisicoquímicos del área con depósitos mineros (SI-M) y el área de sin intervención minera (SI-N). Media n=4. Parámetros con letras iguales, no poseen diferencia significativa.	31
Figura 3. Concentración de metales pesados del área con depósitos mineros (SI-M) y el área sin intervención minera (SI-N) (Composición: partes por millón (ppm)). Media n=4. Parámetros con letras iguales no presentan diferencia significativa.	32
Figura 4. Frecuencia de ocurrencia de las familias evaluadas en la caracterización vegetal de las áreas SI-SV y SI-N.	38
Figura 5. Espora de HFMA de las áreas SI-M y SI-N en CT de <i>Brachiaria decumbens</i> . a. <i>Glomus macrocarpum</i> 40x; b. <i>Glomus microcarpum</i> 40x; c. <i>Glomus tenebrosum</i> 40x; d. <i>Glomus badium</i> 100x; e. <i>Glomus etunicatum</i> 40x; f. <i>Entrophospora infrequens</i> 40x; g. Morfotipo sin identificar (2) 100x; h. <i>Acaulospora cavernata</i> 40x; i. Morfotipo sin identificar (1) 100x; j. <i>Archaeospora myriocarpa</i> 100x; k. <i>Diversispora ebúrnea</i> 100x; l. <i>Diversispora spurca</i> 100x; m. <i>Diversispora</i> sp 40x.	44
Figura 6. Frecuencia de ocurrencia de HFMA en las área SI-M y SI-N, a partir del suelo (barras azules) y cultivos trampa (barras rojas).	47
Figura 7. Análisis de componentes principales de la variable biológica (HFMA) y las variables físico-químicas.	50
Figura 8. Análisis de componentes principales para los resultados de metales pesados asociados a las áreas de estudio y la abundancia de HFMA.	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado de la vegetación asociada a las áreas de estudio.....	34
Tabla 2. Antiguos reportes de áreas nativas y sin intervención antropogénica en el municipio de Santa Isabel-Tolima donde se encontraron los géneros asociados al área de sucesión vegetal del presente estudio (SI-SV).....	40
Tabla 3. Índices de diversidad y números de Hills. SI-M (Área de depósitos mineros); SI-SV (Área de sucesión vegetal; SI-N (Área sin intervención minera).	40
Tabla 4. Diversidad y abundancia de HFMA asociados a las áreas de estudio SI-M: área de depósitos mineros y SI-N: área sin intervención adyacente a los depósitos mineros, tanto en el suelo (S) como en los cultivos trampa (CT).....	45
Tabla 5. Diversidad de los HFMA de suelo (S) y cultivos trampa (CT), aislados de las áreas SI-M y SI-N. Riqueza de especies (diversidad de orden Q0); diversidad (diversidad de orden Q1) y dominancia (diversidad de orden Q2).	45

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Resultados fisicoquímicos por punto de muestreo.	67
Anexo B. Descripción de <i>Glomus macrocarpum</i> Tul. & C. Tul. (Tulasne & Tulasne, 1844)	69
Anexo C. Descripción de <i>Glomus microcarpum</i> Tul. & C. Tul. (Tulasne & Tulasne, 1845).	70
Anexo D. Descripción de <i>Glomus badium</i> Oehl, D. Redecker & Sieverd. (Oehl, Redecker, & Sieverding, 2005).....	71
Anexo E. Descripción de <i>Glomus etinucatum</i> W.N. Becker & Gerd. (Becker & Gerdemann, 1977)	72
Anexo F. Descripción de <i>Glomus tenebrosum</i> (Thaxt.) S.M. Berch. (Berch & Fortin, 1983).	73
Anexo G. Descripción de <i>Entrophospora infrequens</i> (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneid. (Ames & Schneider, 1979)	74
Anexo H. Descripción de Morfotipo sin identificar (1).	75
Anexo I. Descripción de Morfotipo sin identificar (2)	76
Anexo J. Descripción de <i>Acaulospora cavernata</i> Blaszk. (Blaszkowski, 1989).....	77
Anexo K. Descripción de <i>Archaeospora myriocarpa</i> (Spain, Sieverd. & N.C. Schenck) Oehl, G.A. Silva, B.T. Goto & Sieverd. (Oehl, Silva, Goto, & Sieverding, 2011)	78
Anexo L. Descripción de <i>Diversispora eburnea</i> (L.J. Kenn., J.C. Stutz & J.B. Morton) C. Walker & A. Schüßler. (Schüßler & Walker, 2010).	79
Anexo M. Descripción de <i>Diversispora spurca</i> (C.M. Pfeiff., C. Walker & Bloss) C. Walker & A. Schüßler. (Walker & Schüssler, 2004).....	80
Anexo N. Descripción de <i>Diversispora</i> sp. C. Walker & A. Schüßler. (Walker & Schüssler, 2004).	81
Anexo O. Protocolo de extracción de HFMA según Gerdemann & Nicolso (1963) Modificado.....	82
Anexo P. Protocolo de cultivos trampa de HFMA Sieverding, (1983) con modificaciones.	83

RESUMEN

La minería genera un impacto sobre los suelos, hábitat que soporta la cadena trófica. A pesar de ser evidentes los cambios en el suelo y la cobertura vegetal por la acción minera, poco se conoce sobre los organismos en estos ambientes. Los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA), son fundamentales por establecer relaciones simbióticas con la mayoría de las plantas, característica esencial para la recuperación de los suelos. El objetivo de este estudio fue caracterizar la abundancia y diversidad de la vegetación y HFMA en una zona afectada por la minería de oro en Santa Isabel-Tolima. La vegetación fue evaluada en dos áreas; una adyacente a los depósitos mineros y con vegetación nativa (SI-N) y otra intermedia con desechos mineros e inicio de sucesión vegetal natural (SI-SV) y los HFMA en el área SI-N y el área de desechos de minería (SI-M). La vegetación se cuantificó por la metodología RAP y los HFMA por el método de tamizado en húmedo a partir de suelo directo y cultivos trampa. Identificando 605 individuos, pertenecientes a 29 familias, 46 géneros y 54 especies vegetales y de HFMA 13 especies y 11 géneros, siendo 23 veces mayor en el área SI-N, con *Glomus microcarpum*, como el más frecuente en ambas áreas. La diversidad, se determinó mediante los números de Hills, donde el área SI-N fue mayor en la vegetación (Q1: 11,94) y el área SI-M en los HFMA (Q1: 4,17). Se destacan las especies vegetales *Baccharis latifolia*, *Agrostis* sp, y *Miconia* sp y los HFMA del género *Glomus* por ser potenciales en la fitorremediación.

Palabras claves: Micorrizas, Suelo, Relaves, Fitorremediación

ABSTRACT

Mining produces impact in the soils, the habitat that supports trophic chain. In spite of the evident changes in land and in vegetal cover due to mining activity, little is known about organisms in this environment. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are key organisms that establish symbiotic relations with most of the plants, this being an essential trait for soil recovery. The goal of this study is to characterize abundance and diversity of the vegetation and AMF in a gold mining affected zone in Santa Isabel, Tolima. Vegetation was evaluated in two areas, one adjacent to mining deposits and with native vegetation (SI-N) and another intermediate with mining waste and starting to have natural ecological succession (SI-SV); and AMF were measured in SI-N and mining waste area (SI-M). Vegetation was quantified by RAP methodology and AMF by wet sieving from direct soil and trap cultures. We identified 605 individuals, belonging to 29 families, 46 genera, and 54 vegetal species and 13 AMF species and 11 genera, being 23 times greater in SI-N area, *Glomus microcarpum* being the most frequent in both areas. Diversity was determined by Hills number, in which vegetation was higher in SI-N (Q1:11.94) and AMF was greater in SI-M (Q1:4.17). Vegetal species to highlight are *Baccharis latifolia*, *Agrostis* sp, and *Miconia* sp and AMF from *Glomus* genus, for having potential uses in phytoremediation.

Keywords: mycorrhizae, Soil, Tailings, Phytoremediation

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema complejo que soporta miles de organismos y sus interacciones biológicas, una de las simbiosis más importantes es la relación entre las plantas y los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA), los cuales forman asociación con el 90% de las plantas (Harley & Smith, 1983) donde actúan como promotores del establecimiento vegetal por sus beneficios en la nutrición, tolerancia a patógenos (Ramírez & Rodríguez, 2012), además de contrarrestar la compactación del suelo gracias a la segregación de la glomalina, la cual es una glicoproteína que protege a las hifas, y una vez estas empiezan su proceso de senescencia, la glomalina es liberada en el suelo, donde actúa como un aglutinante de minerales y materia orgánica, lo cual está directamente relacionado con la estabilidad y estructura del suelo (Grümberg, Conforto, Rovea, Boxler, March, & Luna, 2010; Genre, Chabaud, Faccio, Barker, & Bonfante, 2008;)

Diversas actividades antrópicas como, la deforestación, minería, quema indiscriminada, cultivos agrícolas, ganadería, entre otras, causan alteraciones en la composición física, química y biológica del suelo, modifican el paisaje y la biodiversidad (Casas, 2012). De estas acciones, la minera es una de las más fuertes, debido a los diferentes impactos en la superficie terrestre; como la deforestación, pérdida de la biodiversidad y de nutrientes, erosión y depósitos de desechos mineros donde se acumulan metales pesados que generan toxicidad en el suelo y en las fuentes hídricas superficiales y subterráneas (Gill, 2010).

El interés por la recuperación de áreas impactadas con algún tipo de intervención, cada día toma más importancia; una de las estrategias más empleadas es encontrar organismos *in situ*, que puedan soportar estas condiciones y posteriormente puedan emplearse para el restablecimiento de las mismas (Marrugo, Marrugo, Pinedo, Durango, & Diez, 2016).

Así la fitorremediación y la micorremediación, surgen como una alternativa para la reducción de este tipo de impactos (Hakeem et al., 2015). El uso de plantas y hongos con capacidad de desintoxicación y estabilización de ambientes contaminados, junto con el efecto acumulador de las plantas pioneras de la zona, potenciadas con la asociación de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) es una estrategia usada en diferentes partes del mundo (Audet & Charest, 2007; Hildebrandt et al., 2007; Schneider et al., 2013).

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la abundancia y diversidad de la vegetación y de los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares en un área de minería del municipio de Santa Isabel-Tolima.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar los cambios en la composición fisicoquímica de los suelos afectados por la minería en el municipio de Santa Isabel-Tolima.

Determinar el efecto de la minería sobre la abundancia y diversidad de la vegetación en el municipio de Santa Isabel-Tolima

Determinar el impacto de la minería sobre la abundancia y diversidad de HFMA de los suelos afectados por la minería en el municipio de Santa Isabel-Tolima.

Seleccionar al menos un género potencial de HFMA y una especie vegetal para el establecimiento de estrategias de recuperación en las zonas mineras en el municipio de Santa Isabel-Tolima.

2. MARCO TEORICO

2.1. LA MINERÍA EN LA ACTUALIDAD

La extracción de minerales ha tenido un ascenso constante a nivel mundial, ejemplo de esto es el oro, del cual se extrae un total de 3'020.000 Kilogramos (Kg) por año, el mayor productor es China con 451.799 Kg; Colombia es el décimo cuarto con un reporte de 57.015 Kg por año (British geological survey, 2014).

En Colombia, durante los años 2012, 2013 y 2014 se presentó una producción de oro de 13,52, 14,92 y 13,86 toneladas respectivamente, ya en el primer trimestre del 2015 la producción de oro disminuyó a 8,46 toneladas (Ministerio de Minas y Energía, 2015); En este mismo año, en el país se registró que el departamento de Antioquia lidera la producción de oro nacional con el 38,72%, seguido de Chocó (24,69%), Nariño (19,13%), Bolívar (5,18%), Cauca (5,14%), Caldas (4,06%) y Córdoba con el 1,02%; en cuanto a los departamentos del Huila, Santander, Quindío y Tolima suman el 1,25% (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

El nivel de tecnificación, el sistema de extracción, el capital de trabajo y los estándares de seguridad, entre otras, son características que varían dependiendo del tipo de minería (Fedesarrollo, 2008), condiciones que permiten clasificar, de acuerdo con el censo minero 2011, las 14,357 minas que existen en el país, en minas pequeñas (10.384), medianas (3749) y a gran escala (208) (Güiza, 2013).

La minería de pequeña escala o artesanal, es donde la actividad se da de manera rudimentaria, accionada por la fuerza humana, y su producción no sobrepasa las 250 toneladas anuales (Güiza, 2013). Este tipo de minería representa el 72% de las minas del país, de las cuales el 66% son ilegales y en total generan entre el 17-20% de la producción oficial de oro en Colombia; se estima que se extrae entre 41.400 y 50.800 Kg

por año, considerándose como el tipo de extracción minera comúnmente encontrada en nuestro país (Seccatore, Veiga, Origliasso, Marin, & De Tomi, 2014).

La minería a mediana escala, presenta un sistema eficiente de explotación y procesamiento del mineral, con mano de obra calificada y no calificada (Fedesarrollo, 2008). Y la minería a gran escala opera en forma integrada, con el mayor nivel de formalización y legalidad. Adicionalmente, su proceso productivo es el más tecnificado y tiene mayores garantías de seguridad industrial (Güiza, 2013).

En el departamento del Tolima 40.8% de las unidades mineras poseen título (Ministerio de Minas y Energía, 2012). Es de resaltar que en el departamento se extrae oro principalmente por minería subterránea de Filón (72%) y en menor proporción con minería de aluvión en un 28%, siendo la primera más tecnificada (mediana escala), la cual es aplicada en minerales que se encuentran a gran profundidad, esta incluye la excavación de depósitos verticales y horizontales denominados socavones, utilizados para el acceso de personal y de equipos especiales. Estas perforaciones pueden generar impactos en los niveles freáticos, causar el hundimiento, generar residuos y polvo, e introducir cambios químicos en el suelo y en el agua (Mossa & James, 2013). En cuanto a la minería de aluvión, este tipo de extracción, se centra en la recolección de minerales valiosos que se encuentra en los sedimentos del lecho de una corriente de agua. Se usan excavadoras, dragas o bateas, para extraer el mineral y la explotación por lo general tiene por objetivo retirar oro de los sedimentos o arena aluvial de un río (ELAW, 2010; SIMCO, 2011).

Para el año 2016, el Tolima obtuvo una producción de 67,95 kg de oro, en donde los municipios del Líbano y Santa Isabel presentaron la mayor producción para el año 2016 con 43 Kg y 14 Kg respectivamente, ambos municipios bajo la extracción minera a mediana escala de filón (Marique & Perico, 2016).

2.2. IMPACTOS DE LA MINERÍA SOBRE EL SUELO Y LA VEGETACIÓN

La minería presentan dos grandes efectos sobre el suelo, en primer lugar la acumulación de contaminantes orgánicos e inorgánicos que alteran sus características fisicoquímicas por los desechos denominados “Relaves”, que son el resultado del procesamiento de la roca, para la extracción de metales valiosos (ELAW, 2010). Los desechos mineros, generalmente pueden contener metales pesados tales como Arsénico (As), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Cianuro (CN) (usado en el proceso de lixiviación) entre otros (Oblasser & Chaparro, 2008; ELAW, 2010). Además el material removido es depositado en tierras de posiciones más bajas y/o cerca de ecosistemas acuáticos, proceso que genera un importante impacto ambiental sobre el recurso hídrico (Brunel & Seguel, 2011).

En segundo lugar se encuentra la erosión, debido a la remoción de la capa vegetal y la exposición de materiales removidos y procesados, se genera un fenómeno de disgregación y arrastre de partículas por escorrentía, el suelo queda con limitaciones químicas de nitrógeno (N), fósforo (P) total y disponible, reducción de la materia orgánica (MO), calcio (Ca), magnesio (Mg) entre otros nutrientes; junto con las marcadas limitaciones físicas, como son las alteraciones de la porosidad, la compactación del suelo y la capacidad del suelo para infiltrar y retener agua son cambios asociados a los primeros horizontes de suelos degradados, que limitan el normal desarrollo y elongación del sistema radical de las plantas; es por esto que las comunidades biológicas que logran establecerse son bastante bajas (Brunel & Seguel, 2011).

Además de los efectos sobre el suelo, la vegetación se ve fuertemente afectada, por la actividad minera, la cual causa daños inmediatos en esta, como: la inhibición del crecimiento y desarrollo anormal, y con ello una disminución de la cobertura vegetal (la fotosíntesis, respiración e inactivación de la síntesis de enzimas y proteínas se ve afectada) (Bashan, Puente, Bashan & Hernandez, 2008; Prieto, González, Román & Prieto, 2009). También, se da una pérdida de su productividad, reducción de la biodiversidad e indirectamente la contaminación del aire y las aguas superficiales y

subterráneas (Becerril, Barrutia, García, & Hernández, 2007). Las plantas que logran establecerse en áreas degradadas por la minería aparte de tolerantes, son capaces de utilizar compuestos contaminantes para completar sus ciclos biológicos y síntesis de energía (Jeremic et al., 2016; Schneider, Stürmer, Guilherme, Moreira & Fonsêca, 2013).

2.3. VEGETACIÓN ASOCIADA A ÁREAS DE MINERÍA

La vegetación asociada a áreas degradadas es clave en el desarrollo de procesos de recuperación ambiental, ya que plantas resistentes a metales pesados, enfermedades y otros tipos de estrés son fuentes valiosas para establecer diferentes estrategias que permitan estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire y agua (Hakeem et al., 2015; Vasavi, Usha, & Swamy, 2010).

Así el uso de plantas para la limpieza o restauración del medio ambiente, son la base de diferentes estrategias de fitorremediación, por procesos como la fitoextracción, la cual requiere de plantas capaces de absorber metales provenientes del suelo y translocarlos hacia sus brotes; la fitoestabilización, cuyo fin es estabilizar el suelo, por medio de la raíz, la cual retiene el metal (Vasavi et al., 2010; Hakeemet al., 2015); la fitovolatilización implica el uso de plantas para extraer ciertos metales del suelo y luego liberarlos a la atmósfera mediante la volatilización. Algunas plantas toleran y acumulan altas concentraciones de metales en sus tejidos, pero no al nivel requerido para ser llamadas hiperacumuladoras (Vasavi et al., 2010).

Para el establecimiento de estrategias de fitorremediación se requiere conocer la vegetación circundante en las áreas afectadas (Fernandez et al., 2016), asimismo, se hace necesario saber cómo este tipo de ambientes degradados influyen sobre la vegetación, con el fin de aplicar estrategias (Fernandez et al., 2016; Marrugo, Marrugo, Pinedo, Durango, & Diez, 2016). La familia Asteraceae, ha sido reportada por su capacidad de bioextracción tanto de contaminantes urbanos como de áreas rurales fuertemente impactadas, además dentro de esta familia se encuentran especies del genero *Baccharis*, las cuales son claves en el control de la erosión, debido a su

capacidad de afianzar los primeros milímetros del suelo y así dar paso a nuevas especies vegetales (Sarmiento, 2008; Nikolić & Stevović, 2015)

En España, Fernandez y colaboradores (2016), lograron encontrar especies vegetales con un alto potencial en procesos de fitorremediación en lugares intervenidos por la actividad minera y con altos contenidos de metales pesados (Pb, Zn, As y Hg). Entre las 80 especies representativas, se destaca *Agrostis durieui* y *Coincya monensis* por su dominancia en sitios con altos contenidos de Pb-Zn y *C. monensis* por ser hiperacumuladora de Zinc.

En Colombia, se identificaron especies de plantas nativas que crecen en suelos contaminados con mercurio (Hg), por extracción de oro artesanal a mediana escala; el Hg y el total (THg) fue evaluado en las veinticuatro especies vegetales en diferentes tejidos (raíces, tallos y hojas) y en el suelo, con el fin de definir su potencial como sistemas de fitorremediación; dentro del estudio se destacan las especies *Piper marginatum*, *Sticherus bifidus*, y los sub arbustos *J. curcas* y *Capsicum annum* para ser utilizadas en la fitorremediación de suelos contaminados por Hg en zonas tropicales (Marrugo et al., 2016).

2.4. HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES (HFMA) ASOCIADOS A ÁREAS DEGRADADAS

Los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares, son mutualistas obligados, que se asocian con más del 90% de las plantas (León, 2006; Serralde & Ramírez 2004); la característica principal de esta asociación es facilitar la captación de agua y nutrientes (Rios et al., 2013). Las plantas son una fuente de carbono para el hongo, mientras los HFMA son los encargados de captar nutrientes de lenta movilidad, principalmente fósforo, por medio de su red hifal (Smith, Charvat & Jacobson, 2008; Lee et al., 2008; Bashan, Khaosaad, Salazar, Ocampo, Wiemken, & Oehl, 2007; Daza, 2010; Rios et al., 2013).

Los HFMA generan beneficios directos en las plantas en su crecimiento, aumento en el peso seco y nutrición, además aumentan la tolerancia a metales pesados, patógenos, sequía, altas temperaturas y alteraciones de pH, entre otros (Daza , 2010; Ramírez & Rodríguez, 2012; Leung et al., 2006; Bagyaraj & Stürmer, 1995; Daza & Osorio, 2011). Adicionalmente, contrarresta la compactación del suelo debido a la segregación de glomalina que actúa como pegamento de las partículas orgánicas e inorgánicas (Grümberg et al., 2010).

Por otro lado se ha demostrado que los HFMA son capaces de colonizar las raíces de plantas asociadas a zonas contaminadas con metales pesados (Leung et al., 2007). En suelos con altas concentraciones de Arsénico (As), el metal pesado influyó en la riqueza de HFMA; sin embargo las especies *Paraglomus occultum*, *Acaulospora morrowiae* y *Glomus clarum* son de gran relevancia, al liderar la frecuencia de ocurrencia tanto en el área nativa, como en el área contaminada con el metal (Schneider et al., 2013).

Wei y colaboradores (2015), reportaron que la diversidad de HFMA disminuyó con el aumento en la concentración de antimonio (Sb), sin embargo este no fue el único factor que influyó, también los bajos valores de contenido para nitrógeno extraíble y materia orgánica se atribuyen a la pérdida de diversidad; se encontró como grupo dominante a las especies pertenecientes al género *Glomus*.

En términos generales, se muestra que la familia Glomeraceae es la más predominante en zonas con elevadas concentraciones de metales pesados como As, Sb, Mn, Zn y Cd (Krishnamoorthy et al., 2015; Wei et al., 2014; Schneider et al., 2013). Se ha demostrado que las plantas mejoran su tolerancia a altos contenidos de metales pesados, especialmente al Cd con la colonización de las raíces por parte de los HFMA; en especial las plantas de *Cassia itálica* Mill, presentaron una mayor actividad antioxidante y un aumento en el contenido de prolina y fenol para asegurar el crecimiento bajo condiciones de estrés luego de la inoculación de los HFMA (Hashem, Allah, Alqarawi, & Egamberdieva, 2016).

Los HFMA también demuestran un potencial para aumentar la tolerancia de *Leucaena leucocephala* (Lam.) al As; plantas inoculadas con *Glomus clarum* y la mezcla de *Acaulospora morrowiae*, *Gigaspora albida* y *Glomus clarum*, provenientes de suelos contaminado por As, permitieron un mejor crecimiento de *L. leucocephala* en suelos contaminados con este mismo elemento (Schneider et al., 2013; Spruyt et al., 2014).

A nivel mundial, en áreas degradadas por la acción minera, han sido identificadas las especies de *Glomus macrocarpum* y *Glomus microcarpum*, asociadas a minería de piedra caliza y lugares con acumulación de cenizas volantes a causa de la fabricación de cementos (Rios et al., 2013; Selvam & Mahadevan, 2002). *G. macrocarpum*, junto con *Glomus etunicatum* y *Entrophospora colombiana*, han sido identificados en suelos degradados por la extracción de arcilla, asociados a especies vegetales como *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* y *Eucalyptus camaldulensis* (Colodete, Dobbss, & Ramos, 2014; Shiavo, 2005). En cuanto a suelos contaminados con elementos traza, se reportan la persistencia de especies como *Acaulospora morrowiae*, *Glomus albida* y *Glomus clarum*, las cuales están asociados a *Brachiaria decumbens* (Colodete et al., 2014; Siqueira, Santos, Schneider, & Carneiro, 2007).

En Colombia la mayoría de los estudios relacionados con la diversidad micorrizica se han enfocado principalmente a cultivos comerciales (León, 2006). Frente a áreas degradadas por minería, se demostró que *Glomus microaggregatum* tiene un efecto positivo sobre el crecimiento de plántulas de *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*), al aumentar cinco veces su capacidad de absorción de fosfato y dos veces el crecimiento de la plántula (Daza, 2011).

2.5. ESTUDIOS DE DIVERSIDAD EN VEGETACIÓN Y HFMA EN ZONAS INTERVENIDAS

La diversidad de especies es un tema central, tanto en ecología de comunidades como en biología de la conservación. Su estudio ha generado relevancia en los últimos años

gracias a su relación con el funcionamiento de los ecosistemas (Moreno, Barragán, Pineda, & Pavon, 2011).

Actualmente, la evaluación de la diversidad se hace a partir de los índices de diversidad alfa, los números Hills y Shannon-Wiener (H') (León, 2015; Moreno et al., 2011). El índice de H' varía en HFMA desde <1 en algunos campos agrícolas, hasta >2 en bosques tropicales y tierras húmedas templadas; sin embargo, una de sus principales problemáticas es que al expresar en índices de diversidad, los patrones de distribución de los HFMA en una comunidad, varían mucho entre sitios, ecosistemas y a través de épocas estacionales, con diferentes niveles de dominancia en los taxones evaluados (León, 2006). Debido a lo anterior, es aplicado el análisis de los números de Hill, que tiene como ventaja expresar la diversidad de una comunidad en números de especies efectivas, compara en números reales la magnitud de la diferencia en la diversidad de 2 o más comunidades e incorpora las especies según su abundancia en la comunidad, la diversidad de orden cero ($q = 0$) es completamente insensible a las abundancias de las especies; por lo tanto, el valor obtenido equivale simplemente a la riqueza de especies, caso contrario para $q = 1$, donde se representa la abundancia relativa de las especies y $q = 2$ muestra el número de las especies dominantes de la muestra (Hill, 1973; Moreno et al., 2011).

Estudios que utilizan el índice de Shannon suelen, en su gran mayoría, comparar la diversidad mediante pruebas t o intervalos de confianza al 95% para comparar 2 comunidades (Moreno et al., 2011). Este tipo de pruebas estadísticas pueden ser útiles para concluir si hay diferencias significativas entre los valores del índice de Shannon, pero desde el punto de vista biológico, además de las diferencias estadísticamente significativas, resulta aún más interesante conocer la magnitud de la diferencia en la diversidad de 2 o más comunidades (Moreno et al., 2011). Por ende, autores como León (2015), confirman la importancia del uso de los números efectivos, para analizar la abundancia y composición de las comunidades nativas de HFMA, asociados a las raíces de la yuca silvestre y suelo de dos paisajes (de inundación y llanura aluvial), y con ello

determinar que el paisaje y la época, generan efectos en las comunidades de HFMA en suelo y raíces.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDIO Y ZONAS DE MUESTREO

El área de estudio se encuentra ubicada en las proximidades de la mina las Ánimas, la cual está ubicada a una altura de 1945 msnm, en la cual se realiza extracción desde el año 1990, usa explotación subterránea de filón y sus desechos son depositados en terrazas; está localizada en el municipio de Santa Isabel, ubicado en el norte del departamento del Tolima y se caracteriza por ser una zona de protección con 13.200 ha de páramo, las cuales hacen parte del parque natural de los nevados.

Fueron evaluadas tres áreas: la primera, terrazas de depósitos de los desechos mineros (SI-M) geográficamente encontrada a 1945 msnm; la segunda, es un área intermedia, con desechos de minería y un inicio de sucesión vegetal natural (SI-SV) localizada a 1988 msnm; finalmente un área adyacente a los desechos mineros, sin depósitos de la minería y con vegetación nativa (SI-N) geoposicionada a 1845 msnm (Figura 1).

La vegetación asociada a la zona de estudio, solo fue evaluada en las áreas SI-SV y SI-N, porque el área SI-M no presentó vegetación. En cuanto a la caracterización de los factores fisicoquímicos y la evaluación de HFMA, estos fueron caracterizados en las áreas SI-M y SI-N, con el fin de observar los cambios en las áreas.

En el área SI-M y SI-N, se tomaron 4 muestras compuestas, a partir de la mezcla de 5 submuestras. El suelo se colectó a una profundidad entre 10 y 20 cm, con un barreno de Pressler. Las muestras colectadas se llevaron en una nevera de icopor, para ser almacenadas en refrigerador a 4°C.

Figura 1. Sitios de muestreo: Área de depósitos mineros (SI-M), Área de inicio de sucesión vegetal (SI-SV) y Área sin intervención minera (SI-N).



Fuente: Google Earth, (2017)

3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL SUELO

Los análisis fisicoquímicos de las áreas en estudio (SI-M y SI-N) se llevaron a cabo en el Laboratorio de suelos Agroanálisis (pH, MO, P, S, Al+H, Bases de Cambio, CIC, Elementos Menores, CE.). El contenido de metales pesados (Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobalto, Plomo, Zinc, Cobre, Vanadio, Mercurio, Níquel, Selenio), se determinó con fluorescencia de rayos X en el Laboratorio ALPHA 1 S.A.S.

3.3. CARACTERIZACIÓN VEGETAL

La caracterización vegetal se realizó mediante la metodología de parcelas de área rápida (RAP) para el área SI-N con parcelas de 2x50m y en el área SI-SV al ser tan pequeña se usaron parcelas de 4x14m (Ariza et al., 2009). El material colectado fue prensado en papel periódico, preservado con alcohol 70%, se realizaron anotaciones de las características efímeras de cada muestra (Ariza et al., 2009) y se determinaron con colaboración del Herbario Toli y consultas de herbarios virtuales.

3.4. AISLAMIENTO, CUANTIFICACIÓN Y MULTIPLICACIÓN DE ESPORAS DE HFMA.

El suelo colectado en cada uno de los puntos de muestreo de las áreas SI-M y SI-N se utilizó para evaluar la cantidad y diversidad de esporas. Las esporas fueron obtenidas a partir de 10 g de suelo, mediante el método de tamizado en húmedo y centrifugación en gradiente de sacarosa (Gerdemann & Nicolson, 1963) con modificaciones (Anexo 15). Las evaluaciones se realizaron a partir del suelo obtenido directamente en la colecta y del suelo obtenido por cultivo trampa. Este último consistió en tomar 150 g de suelo, homogenizarlo con 150 g de la combinación 3:1 de suelo y arena estéril, el cual se depositó en macetas sembradas con 20 semillas de *Brachiaria decumbens*, después de un mes, solo se seleccionaron 3 plantas por maceta. Las plantas se regaron a capacidad de campo diariamente (debido a las altas temperaturas del invernadero) y fueron fertilizadas una vez por mes, con una solución de extractos húmicos con bajo contenido de fósforo; al término de los tres meses, las plantas se sometieron a estrés hídrico y corte de las hojas y a los 15 días el suelo se llevó al proceso de extracción de esporas propuesto en la metodología (Anexo 16) (Usuga, Castañeda & Franco, 2008; Sieverding 1983).

3.5. IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS HFMA.

La identificación de las esporas se inició a partir del agrupamiento en morfotipos diferenciados por características como: color, tamaño, forma y ornamentaciones. De cada morfotipo fueron tomadas en promedio cinco esporas para realizar el montaje en portaobjetos con polivinil lactoglicerol (pvlg), y pvlg + reactivo de Melzer. Las características necesarias para su identificación taxonómica, como: diámetro de la espora, número de paredes y su tamaño, tipo de ornamentación, forma y tamaño de la conexión hifal y coloración en melzer fueron registradas fotográficamente con un microscopio compuesto (Primo star con adaptador de 0.5x y cámara acoplada AxioCam ERc 5s de 5 megapíxeles programa Zen).

La identificación taxonómica se realizó con la comparación de las descripciones morfológicas reportadas por el INVAM (2017), Blaszkowsky (2003), Oehl y Sieverding (2016) y Schüßler (2013), junto con el apoyo de personal especialista en la taxonomía de HFMA.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La diversidad y abundancia de los HFMA y la vegetación, se evaluó a través de los números efectivos, propuesto por Hill (1973). Las propiedades fisicoquímicas del suelo, junto con la abundancia de los HFMA, fueron analizadas mediante la prueba de Normalidad (Shapiro-wilks modificado); a partir de los resultados, se utilizó en el análisis de Varianza Anova (Método de comparación: tukey) o Kruskal wallis según datos paramétricos o no paramétricos. Finalmente se utilizó el análisis multivariado de componentes principales y la prueba de correlación de Pearson entre las concentraciones de metales en el suelo y la diversidad de especies de HFMA. Las diferentes pruebas se aplicaron mediante el programa estadístico InfoStat.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA DE LOS SUELOS

Los resultados de los análisis fisicoquímicos, relacionados con la fertilidad de los suelos en las áreas SI-M y SI-N, presentan diferencia significativa ($p < 0,05$) en los parámetros de densidad aparente, pH, Na, Ca, Mg, Al+H, Zn, Cu, Fe y Mn (Figura 2).

Ambos suelos pertenecen a la clasificación del tipo franco arenosa, característica común para esta zona (CORTOLIMA, 2014). En cuanto al pH, es ácido en el área SI-N, con valores de 4,95 y 5,24, rango común para los suelos alto andinos de Colombia (Bravo, Arboleda, & Peinado, 2014), como los de la Reserva Natural Pueblo Viejo, localizada en el suroeste de Colombia, Departamento de Nariño; zonas andinas de alta montaña en el departamento del Cauca y la franja continua en dirección sur-norte, en los límites del Tolima con los departamentos de Huila y Caldas, donde se reportan pH ácidos a muy ácidos (Ceron & Garcia, 2009; CORTOLIMA, 2014; Bravo et al., 2014).

En el caso del área SI-M, el suelo es neutro a ligeramente alcalino, con valores entre 5,99 y 7,56, este tipo de suelos con influencia de procesos de minería, pueden presentar pH o muy ácidos o alcalinos (Sheoran, Sheoran & Poonia, 2010), la alcalinidad posiblemente se debe a los altos niveles de Calcio (Ca), ya que la Cal utilizada en el proceso de cianuración para controlar el pH, y con ello evitar la volatilización del cianuro (CN) (Sobral, Barreto, & Carballo, 2005), además, la oxidación de fragmentos de rocas y minerales como los carbonatos ($\text{Ca} / \text{MgCO}_3$), también contribuyen en los altos valores de pH del suelo (Sheoran et al., 2010). Lo anterior, se ha observado en desechos mineros con procesos similares, encontrándose valores cercanos con rangos de pH entre 4,9 y 5,3 (Sheoran et al. 2010; Maiti, 2003).

Los valores de Al+H en SI-M fueron 0 cmol/Kg, lo que puede tener una influencia en los niveles de pH del área, debido la relación inversa de estos dos parámetros, donde altos

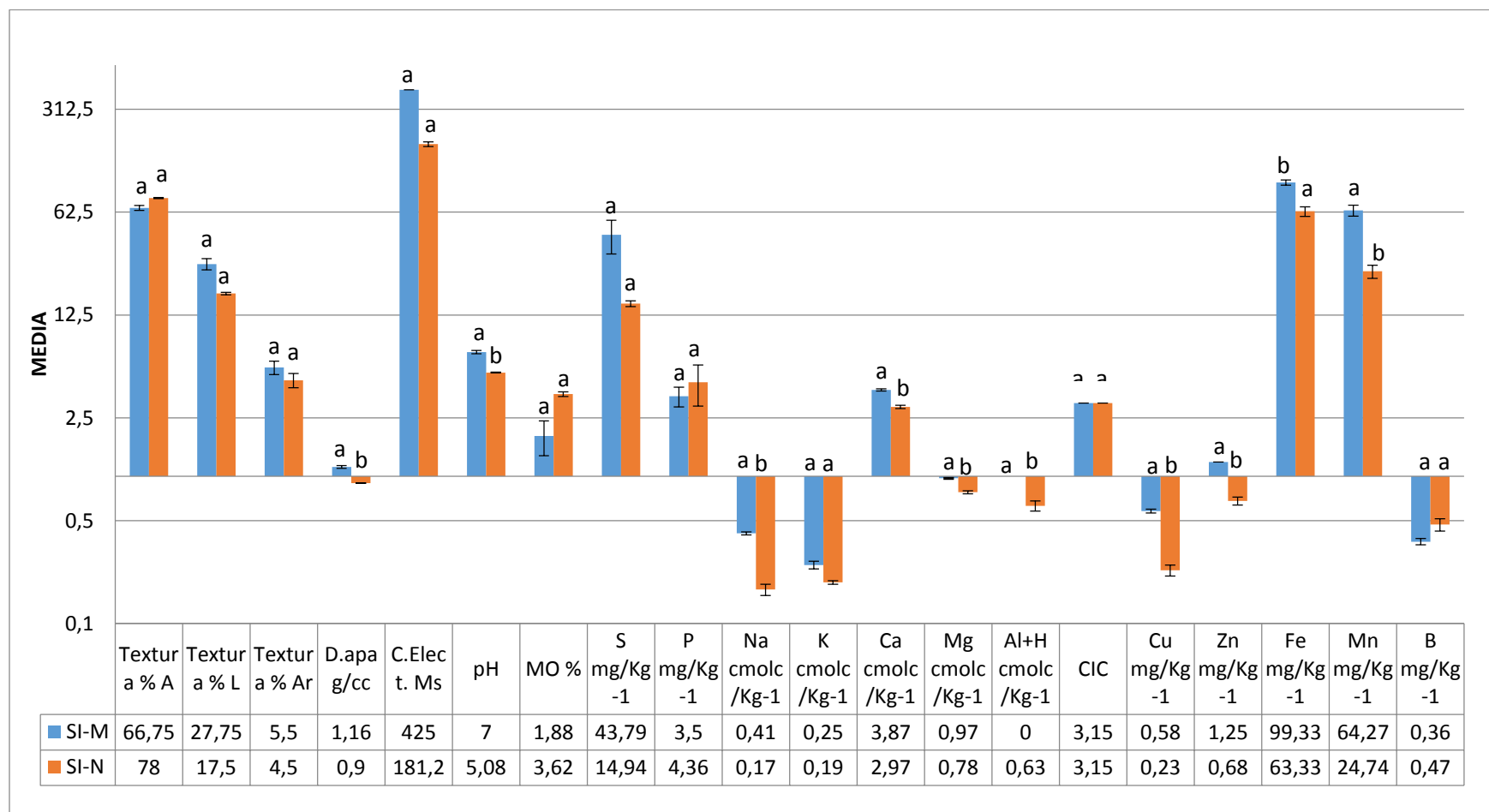
valores de pH van a representar bajos contenidos de Al+H (dos Santos, 2010; Veiga, Barboza, Ferreira, Cosma & Schlindwein, 2011). Una de las medidas más utilizadas que permiten conocer el estado físico del suelo es la densidad aparente (D. apa), la cual se define como la masa del suelo en unidad del volumen y representa el grado de compactación de este (Rojas, 2013). En el área SI-M (D. apa: 1,16; MO.: 1,88) y SI-N (D.apa: 0,9; MO.: 3,62) se puede observar la relación inversamente proporcional entre la materia orgánica (MO) y la densidad aparente, puesto que a medida que aumenta la D. apa, aumenta la compactación y disminuye la MO (Salamanca & Sadeghian, 2005). En el área SI-N, al existir un bosque sin intervención, este contribuye en la generación de MO, lo cual permite el aumento del espacio poroso del suelo y la proliferación de microorganismos capaces de contrarrestar la compactación del suelo, viéndose reflejado en los bajos niveles de la D. apa (Salamanca & Sadeghian, 2005; Rojas, 2013; Ramírez, 2014).

El Punto de muestreo 1 (P1) del área SI-M, al encontrarse cerca de una pendiente con cobertura vegetal, la cual puede generar depósitos de material vegetal en épocas de lluvias a causa de deslizamientos, posee valores de MO similares a los observados en el área SI-N, a diferencia de los demás puntos del área SI-M, que presentaron valores muy bajos. Lo anterior hace que no se observe diferencia significativa entre las áreas (Figura 2).

El porcentaje de materia orgánica a pesar de no haber presentado diferencia significativa, es un parámetro que se encuentra directamente relacionado con varios factores del suelo como la D. apa, el pH, entre otros y presenta una estrecha relación con la dinámica de la vegetación (Arguello, 1991; Salamanca & Sadeghian, 2005); el porcentaje de MO en el área SI-N fue superior con respecto al área SI-M, debido a la vegetación asociada al área SI-N y por la reducción de ésta en el área SI-M además de los altos contenidos de Fe, Mn y Zn en esta última área, ya que estos compuestos se correlaciona negativamente con la MO; estos tres parámetros fueron significativamente diferentes entre las áreas de estudio (Figura1) (Sheoran et al., 2010).

Es de resaltar que el suelo del área SI-N posee niveles bajos de P, Mg y Na, considerándose el suelo como pobre al arrojar niveles de muy bajo a bajo, en la clasificación de Rioja (2002), por el método de Olsen; lo cual es común para zonas alto andinas (Sheoran et al., 2010; Bravo et al., 2014).

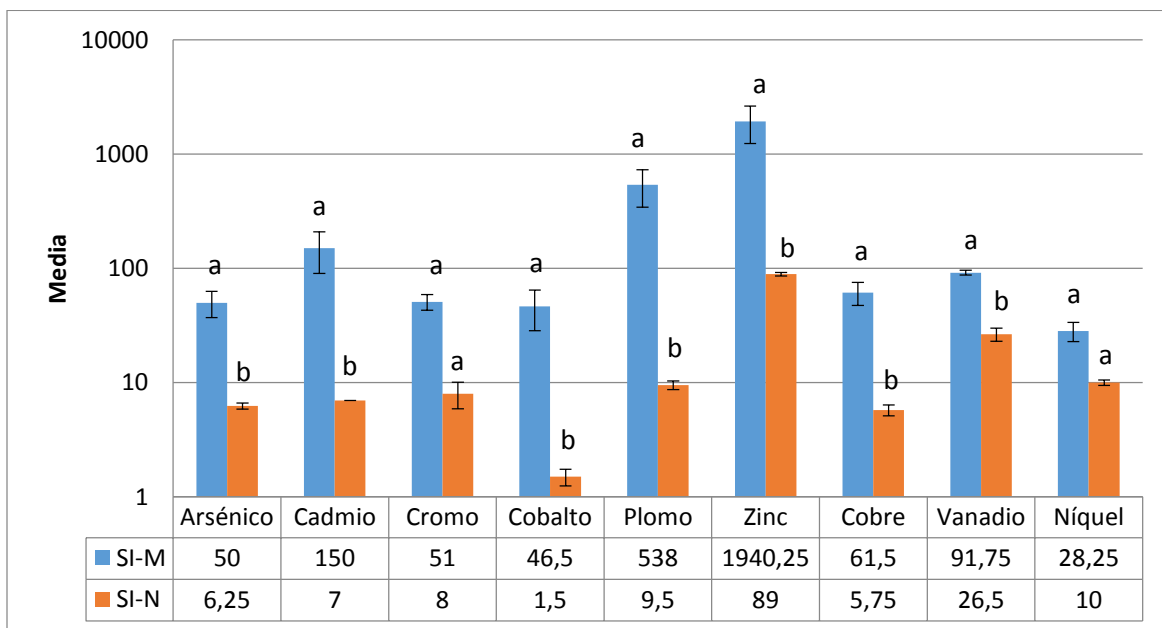
Figura 2. Parámetros fisicoquímicos del área con depósitos mineros (SI-M) y el área de sin intervención minera (SI-N). Media n=4. Parámetros con letras iguales, no poseen diferencia significativa.



Fuente: Autor

Los metales pesados, o los elementos traza en general, están presentes de forma natural y en bajas concentraciones en el suelo y las plantas, sin embargo su peligrosidad viene dada no sólo por su concentración total, sino especialmente por su disponibilidad (Galán & Romero, 2008). En el presente estudio se evaluaron los metales pesados: As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Vn y Zn, de los cuales As, Cd, Cu, Ni y Pb son los más tóxicos y de fácil disponibilidad (Galán & Romero, 2008). Es de tener en cuenta, que en el análisis de similitud, la mayoría de los metales pesados presentaron diferencia significativa entre las áreas de estudio a excepción de Ni, y Cr (Figura 3).

Figura 3. Concentración de metales pesados del área con depósitos mineros (SI-M) y el área sin intervención minera (SI-N) (Composición: partes por millón (ppm)). Media n=4. Parámetros con letras iguales no presentan diferencia significativa.



Fuente: Autor

Los valores del área SI-N, para As y Pb están dentro de los rangos normales en áreas nativas y suelos agrícolas en buenas condiciones con 6,25 y 9,5 ppm respectivamente; sin embargo el Cd no debe sobrepasar 0,5 ppm en condiciones naturales y se encuentra en el área SI-N con 7 ppm (Migueláñez, 2014; CETESB, 2005; Bravo et al., 2014, dos Santos, 2010; Rueda, Rodríguez, & Madriñan, 2011).

A pesar de que el contenido de Cd en el área SI-N fue alto, esto se encuentra posiblemente asociado con el pH del suelo y el Fe (Bravo et al., 2014). En suelos con valores de pH menores a 5 y con presencia de Fe, hacen que la biodisponibilidad de elementos como Cd, Pb y Ni aumente; además algunas de las rocas que presentan el metal y conforman el suelo también contribuyen a la generación de este; sin embargo, el contenido alto de MO en el área SI-N, contribuye en la reducción de la movilidad del Cd, con lo cual se previene cualquier contaminación de aguas subterráneas y bioacumulación del elemento en las plantas (Bravo et al., 2014; Sheoran et al., 2010). En cuanto a la distribución de los metales pesados en el área SI-M, Las concentraciones totales de As, Pb y Cd están dentro de los valores reportados para áreas mineras contaminadas por metales pesados, con rangos entre 70 y 5.330 ppm, 755 y 10.660 ppm, y 18 y 160 ppm respectivamente; así mismo se conoce que la dirección del viento y las características del terreno como la pendiente, influyen en la concentración y distribución de los metales pesados como As, Pb, Cu y Zn en zonas mineras; esto se ve reflejado en el P1 del área SI-M, por su altura sobre el nivel del mar con respecto a los demás puntos (P1: 1953msnm; P2: 1943msnm; P3: 1945msnm; P4: 1942msnm), además, se encuentra bajo una barrera de sedimentos, la cual no permite que influya la dirección del viento sobre la concentración de los metales pesados. Lo anterior, puede permitir que en este punto se encuentren las concentraciones más elevadas de metales pesados del área SI-M (Ding, Cheng, Wang, & Zhuang, 2016).

4.2. CARACTERIZACIÓN VEGETAL

4.2.1. Riqueza y abundancia florística: La evaluación de la riqueza y abundancia florística se desarrolló en las zonas que presentaron vegetación, donde el área SI-N fue la más diversa con características propias del bosque Andino húmedo-montano bajo, y el área SI-SV presentó características de una zona en recuperación, e intermedia entre el área SI-M y SI-N, por presentar vegetación común de áreas degradadas y una cobertura vegetal característica de la zona.

En el presente estudio se registró un total de 605 individuos, pertenecientes a 29 familias, 46 géneros y 54 especies (Tabla 1). Las familias más abundantes en las áreas de estudio fueron Poaceae con 231 individuos (4 especies), es decir el 38% del total, Asteraceae con 95 individuos (8 especies), Melastomataceae con 38 individuos (8 especies) y Solanaceae con 15 individuos (4 especies); las cuales conforman el 24% del total del estudio, el 37% correspondió a las 24 familias restantes (Figura 4; Tabla 1).

Tabla 1. Listado de la vegetación asociada a las áreas de estudio.

Orden	Familia	Género/ Especie	Áreas de estudio			Categoría de amenaza UICN
			SI-M	SI-SV	SI-N	
Dipsacales	Adoxaceae	<i>Viburnum</i> sp	0	0	1	NE
Alismatales	Araceae	<i>Philodendron hederaceum</i> (Jacq.) Schott	0	0	7	NE
		<i>Anturium</i> sp.	0	0	1	NE
		<i>Baccharis latifolia</i>	0	79	0	NE
		<i>Baccharis</i> sp.	0	1	0	NE
		<i>Baccharis inamoena</i> Gardner	0	2	0	NE
		<i>Critoniopsis</i> sp.	0	0	1	VU
Asterales	Asteraceae	<i>Clibadium trianae</i> (Hieron.) S.F.Blake		0	2	NE
		<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M.King & H.Rob.	0	0	3	NE
		<i>Gnaphalium americanum</i> Miller	0	2	0	NE

Orden	Familia	Género/ Especie	Áreas de estudio			Categoría de amenaza UICN
			SI-M	SI-SV	SI-N	
		<i>Liabum melastomoides</i> (Kunth) Less.	0	0	5	NE
Boraginales	Boraginaceae	<i>Tournefortia</i> sp.	0	0	2	NE
Polypodiales	Blechnaceae	<i>Lomariocycas aurata</i> (Fée) Gasper & A.R.Sm.	0	0	10	NE
Malpighiales	Clusiaceae	<i>Garcinia</i> sp.	0	0	1	NE
		<i>Clusia</i> sp.	0	0	4	NE
	Euphorbiaceae	<i>Croton</i> sp.	0	0	4	NE
	Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	0	0	1	NE
	Salicaceae	<i>Banara</i> sp.	0	0	1	NE
Polypodiales	Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.	0	0	15	NE
	Dryopteridaceae	<i>Elaphoglossum</i> sp.	0	0	2	NE
	Athyriaceae	<i>Diplazium longisorum</i> (Baker) C. Chr.	0	0	5	NE
Fagales	Fagaceae	<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	0	0	34	VU
Lamiales	Geisneraceae	<i>Kohleria hirsuta</i> (Kunth) Regel.	0	0	18	NE
		<i>Besleria solanoides</i> Kunth.	0	0	3	
	Acanthaceae	<i>Blechum</i> sp.	0	0	4	NE
Zingiberales	Marantaceae	<i>Calathea</i> sp.	0	0	5	NE
	Zingiberaceae	<i>Renealmia</i> sp.	0	0	1	NE
Myrtales	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp.	0	0	7	NE

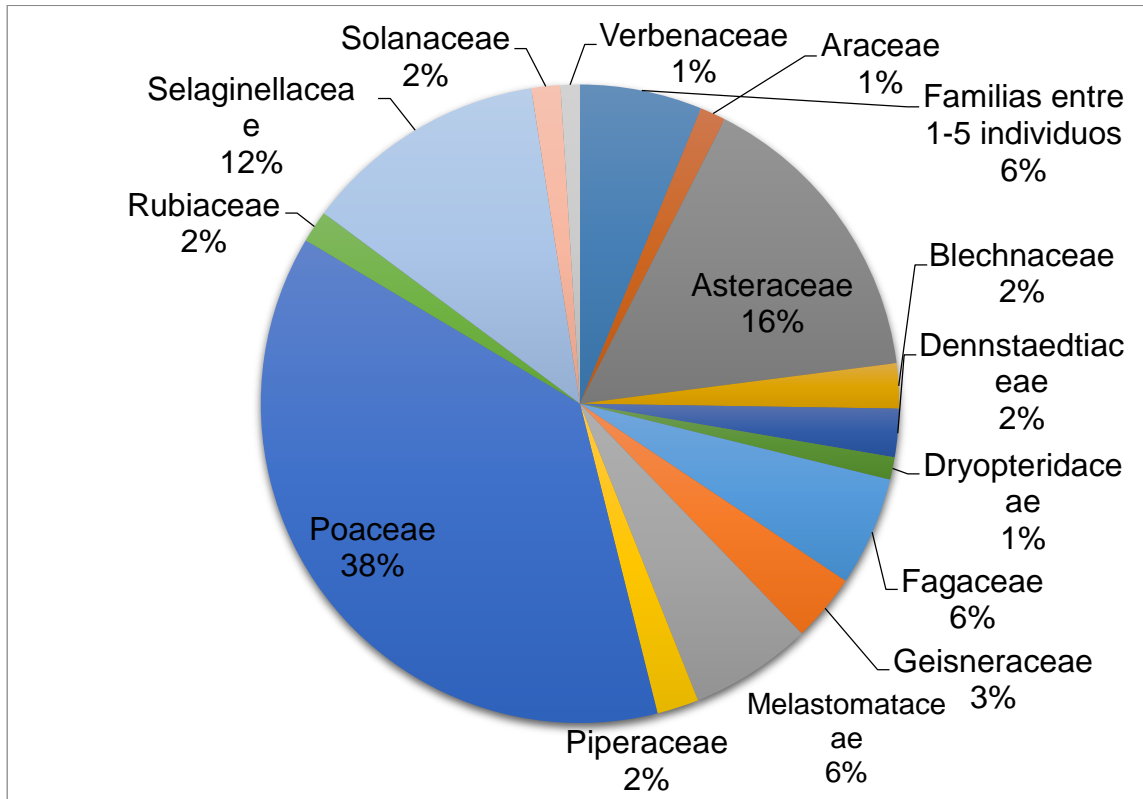
Orden	Familia	Género/ Especie	Áreas de estudio			Categoría de amenaza UICN
			SI-M	SI-SV	SI-N	
		<i>Miconia aeruginosa</i> Naud.	0	0	4	NE
		<i>Miconia jahnii</i> Pittier.	0	0	1	NE
		<i>Miconia cf. Aponeura</i> Triana.	0	0	1	NE
		<i>Miconia caudata</i> (Bonpl.) DC.	0	0	15	NE
		<i>Conostegia schlimii</i> (Triana) Kriebel.	0	0	6	NE
		<i>Clidemia</i> sp.	0	0	3	NE
		<i>Tibouchina</i> sp.	0	0	1	NE
	Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i> sp.	0	0	1	EN
Laurales	Siparunaceae	<i>Siparuna</i> sp.	0	0	3	NE
	Lauraceae	<i>Nectandra martinicensis</i> Mez.	0	0	1	NE
Piperales	Piperaceae	<i>Piper acutiusculum</i> C. DC.	0	0	12	NE
		<i>Piper cf. crassinervium</i> Kunth.	0	0	1	NE
Poales	Poaceae	<i>Paspalum saccharoides</i> Nees ex Trin.	0	9	0	NE
		<i>Paspalum</i> sp.	0	27	0	NE
		<i>Lasiacis maculata</i> (Aubl.) Urb.	0	14	0	NE
		<i>Rhipidocladum racemiflorum</i> (Steud.) McClure.	0	0	180	NE

Orden	Familia	Género/ Especie	Áreas de estudio			Categoría de amenaza UICN
			SI-M	SI-SV	SI-N	
Ericales	Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br.	0	0	2	NE
Cyatheales	Cyatheaceae	<i>Cyathea</i> sp.	0	1	0	NE
Gentianales	Rubiaceae	<i>Coccocypselum hirsutum</i> Bartl. ex DC.	0	0	10	NE
Sapindales	Sapindaceae	<i>Cupania glabra</i> Sw.	0	0	1	NE
Selaginellales	Selaginellaceae	<i>Selaginella silvestris</i> <i>Aspl.</i>	0	0	76	NE
		<i>Physalis peruviana</i> L.	0	1	0	NE
Solanales	Solanaceae	<i>Solanum bicolor</i> Willd. ex Roem. & Schult.	0	0	6	NE
		<i>Solanum quitoense</i> Lam.	0	0	1	NE
		<i>Cyphomandra</i> sp.	0	0	1	NE
	Verbenaceae	<i>Lantana rugulosa</i> Kunth.	0	2	4	NE
Total individuos			0	138	467	NE

VU: Especies con un riesgo alto de extinción en categoría silvestre según la UICN.

NE: Especies no evaluadas por la UICN. Fuente: Autor

Figura 4. Frecuencia de ocurrencia de las familias evaluadas en la caracterización vegetal de las áreas SI-SV y SI-N.



Fuente: Autor

La composición florística y riqueza de los grupos taxonómicos, es similar a lo reportado en otros estudios de bosques andinos; el estudio realizado en la Reserva Torre Cuatro, la cual hace parte de la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados (Cordillera Central de los Andes colombianos) a una altura entre 2650-2900 msnm, reportó 61 especies vegetales, en donde las familias Asteraceae, Melastomataceae y Solanaceae fueron las más representativas (Alvear, Bentancur & Franco, 2010). Lo anterior, se relaciona con la información encontrada en este estudio, puesto que las familias más dominantes fueron Poaceae, seguida de Asteraceae, Selaginellaceae y Melastomataceae (Figura 4).

Las familias Asteraceae, Poaceae, Solanaceae y Verbenaceae no solo fueron relevantes por su abundancia, también por su frecuencia en el área SI-SV como en el área SI-N, lo

cual podría demostrar un inicio de la sucesión vegetal del área SI-SV, con familias que son parte de la flora nativa y con capacidad de establecerse en estas condiciones, acoplándose a un modelo de sucesión tipo facilitador, donde las especies presentes van a preparar el terreno, para dar paso a futuras especies colonizadoras (Torres & Benítez, 2013).

El número de especies del presente estudio, fue similar con lo encontrado en la Cuenca Mayor del Río Totare, en el municipio de Anzoátegui en relictos boscosos de la vereda el Palomar (2750 msnm), donde fueron identificadas 52 especies, 7 más con respecto al presente estudio. En ambos trabajos, predominó *Quercus humboldtii*, con 34 individuos, que representaron 6% del total de especies del área SI-N (Tabla 1; Figura 4) (Cortolima, 2009).

En cuanto a la vegetación del área SI-SV, está se compone por vegetación primaria, común en zonas en recuperación, en donde se resalta la presencia de Asteraceae y Poaceae, por ser familias que han sido reportadas en antiguas zonas mineras por su capacidad de establecerse en sitios abiertos y en zonas de regeneración temprana, gracias a sus estrategias de dispersión anemócora, que les permite llegar a áreas más alejadas de las plantas parentales y de colonizar suelos descubiertos (Arias & Barrera, 2007).

Se destaca la presencia del género *Baccharis*, en el área intermedia, por su alta abundancia y antiguos reportes (Rangel, Lowy & Aguila, 2011; Plan de Desarrollo Municipal, 2012) que indican su presencia en el municipio de Santa Isabel-Tolima, en áreas sin intervención (Tabla 2). También, es de gran importancia, por su capacidad de establecerse en etapas previas e indicar un avance en el proceso, debido a que permite afianzar los primeros milímetros del suelo, lo cual es clave en el control de la erosión (Sarmiento, 2008).

Tabla 2. Antiguos reportes de áreas nativas y con poca intervención antropogénica en el municipio de Santa Isabel-Tolima donde se encontraron los géneros asociados al área de sucesión vegetal del presente estudio (SI-SV)

Géneros encontrados en la zona SI-SV	Géneros encontrados por Rangel et al., (2011)	Géneros reportados por el Plan de Desarrollo Municipal (2012)
<i>Baccharis</i>	<i>Baccharis</i>	<i>Baccharis</i>
<i>Physalis</i>	<i>Paspalum</i>	
<i>Paspalum</i>	<i>Panicum</i>	
<i>Panicum</i>	<i>Ghaphalium</i>	
<i>Ghaphalium</i>	<i>Agrostis</i>	
<i>Agrostis</i>	<i>Cyathea</i>	
<i>Cyathea</i>	<i>Lantana</i>	
<i>Lantana</i>		

Fuente: Autor

4.2.2. Índices de diversidad: Los índices de diversidad y dominancia, Shannon y Simpson respectivamente, muestran que la composición florística de las zonas analizadas fue homogénea, en donde el área conservada o sin intervención fue la que presentó una mayor diversidad de especies respecto al área intermedia (Tabla 3).

Tabla 3. Índices de diversidad y números de Hills. SI-M (Área de depósitos mineros); SI-SV (Área de sucesión vegetal); SI-N (Área sin intervención minera).

Variables	Áreas de estudio		
	SI-M	SI-SV	SI-N
Especies	-	10	45
Individuos	-	138	467
Simpson_1-D	-	0,6187	0,8127
Shannon_H (H')	-	1,34	2,48
Diversidad en orden Q1	-	3,81	11,94
Diversidad en orden Q2	-	1,62	1,23

Fuente: Autor

El análisis de diversidad se realizó con los números de Hills, los cuales permiten obtener en números reales o efectivos la diversidad de las especies evaluadas, con el fin de evaluar la diversidad en orden cero o Q0, la cual es equivalente a la riqueza de especies, encontrándose 10 y 45 especies para el área SI-SV y el área SI-N respectivamente (Tabla 3).

Con la medida de diversidad de orden 1 se encontró que el área SI-SV presenta una diversidad igual a la que tendría una comunidad teórica de 3,8 géneros, donde todos ellos tuvieran la misma abundancia. Por su parte, en el área conservada se encontró una diversidad igual a la que tendría una comunidad de 11,9 géneros efectivos. Al expresar esta equivalencia, se concluye que el área conservada es 8.12 más diverso que el área intermedia, lo cual puede estar relacionado con los relaves mineros y la dominancia de especies como *Baccharis latifolia* (79 individuos), *Paspalum* sp. (27 individuos), *Panicum glutinosum* (14 individuos) y *Paspalum Sacharoides* (9 individuos) por parte del área intermedia (Tabla 1). Sin embargo al encontrarse en un proceso sucesional, la vegetación permitirá contrarrestar el proceso erosivo, hasta dar lugar a una sucesión secundaria la cual es un proceso ecológico por el cual se recupera la cobertura boscosa en lugares que anteriormente estuvieron sometidos a algún tipo de perturbación natural o antrópica (Barrera, Contreras, Garzón, & Moreno, 2010).

4.2.3. Especies potenciales para iniciar un plan de recuperación en la zona: se recomiendan para iniciar un plan de recuperación en la zona, debido a su presencia y potencial, las siguientes especies vegetales: la primera opción es *Baccharis latifolia*, considerada pionera y capaz de favorecer la aparición de propágulos de especies nativas (Rodríguez, 2010; Sarmiento, 2008). Además la capacidad de crecer en suelos con metales pesados junto con su potencial en la fitoextracción de Plomo (Pb) y Zinc (Zn) (Desde 2120 hasta 3060 mg kg⁻¹ Pb y desde 1090 hasta 1490 mg kg⁻¹ Zn) la convierten en una de las especies más importantes para el desarrollo de planes de manejo en zonas degradadas a causa de la actividad minera (Bech et al., 2012); y el género *Agrostis*, que se ha encontrado potencial en algunas de sus especies durante procesos de recuperación en suelos contaminados por metales pesados, gracias a su tolerancia y composta (Ernst, 2006; Meier, Borie, Bolan, & Cornejo, 2012). Reportándose resistencia a altas concentraciones de Pb y por presentar especies dominantes en lugares con altos contenidos de Pb-Zn como *Agrostis durieui* (Fernández et al., 2016).

Como segunda opción, se recomienda las especies arbustivas *Vismia baccifera* y *Miconia* sp., porque facilitan la regeneración vegetal a partir del mejoramiento de las condiciones edáficas y junto con *Clusia* sp. y *Clidemia* sp. han sido utilizadas como parte de la vegetación pionera o nativa en áreas afectadas para que sirvan como propágulos y un micro hábitat adecuado para la regeneración de especies leñosas (SINCHI, 2014).

Por último se recomienda realizar un seguimiento a *Quercus humboldtii*, especie catalogada como vulnerable, para que esta no se vea afectada en un futuro por la actividad minera, además, podría estar involucrada dentro del proceso de recuperación de la zona, en una segunda etapa de reforestación, lo cual beneficiaría a la especie.

4.3. IDENTIFICACIÓN DE HFMA

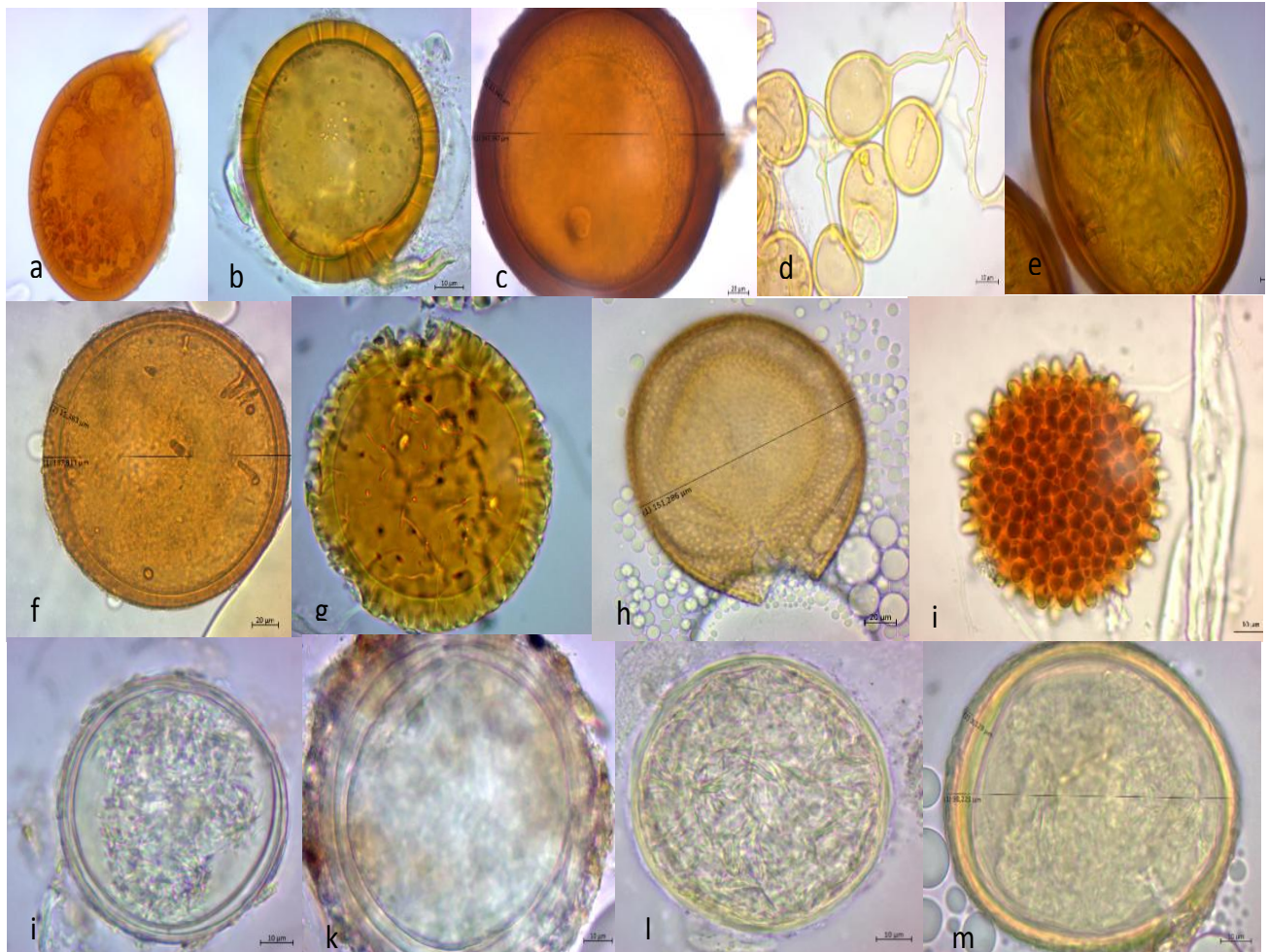
4.3.1. Riqueza y abundancia de esporas de HFMA: El conteo de HFMA, a partir de las muestras directas del suelo (S), mostró que las esporas presentes en el área SI-N son 23 veces más abundantes (508/22) que en el área SI-M; y 2,2 veces (689/308) más cuando el conteo se realizó a partir de cultivos trampa (CT). El CT incrementó la riqueza de los HFMA tanto para el área SI-M (308 esporas y 8 especies) como para el área SI-N (680 esporas Y 12 especies) (Tabla 4).

En total, desde S y CT, se registraron 13 morfotipos diferentes (Figura 5 y Tabla 4), 10 en SI-M y 12 en SI-N, correspondientes a un total de 4 familias, 13 géneros, y 10 especies (Tabla 5). La familia Glomeraceae, presentó el mayor número de morfotipos, con las especies *Glomus macrocarpum* (Anexo 2), *Glomus microcarpum* (Anexo 3) y *Glomus badium* (Anexo 4). Resultados que confirman la amplia tolerancia de esta familia a perturbaciones en el suelo a causa de la actividad antrópica (Ríos et al., 2013).

A partir de los números de Hills, se observó que el área SI-M aumento en CT con respecto a S tanto en la diversidad en orden Q0 como en Q2, sin embargo se encontraron más especies con abundancia similar (S Q1: 4,17; CT Q1: 2,43) en el S en comparación con los CT. En cuanto al área SI-N, se encontró que la diversidad en orden Q0 como Q1, aumento en los CT respecto a los encontrado directamente en el S. Sin embargo las especies dominantes son las mismas para S y CT, y se mantuvo el valor de la diversidad en orden Q2.

La diversidad en orden Q0, mostró que el área SI-N es la más rica en especies de HFMA, con 8 especies (Tabla 5). Sin embargo el análisis de diversidad en orden Q1 muestra que el área SI-M es más diversa que el área SI-N, al presentar 4 especies efectivas con una abundancia similar, respecto a las 3 especies del área SI-N. Finalmente en la diversidad en orden Q2, se hallaron 2 especies con una alta dominancia en el área SI.N, correspondientes a *G. macrocarpum* y *G. microcarpum*, esta última fue la más dominante en SI-M.

Figura 5. Espora de HFMA de las áreas SI-M y SI-N en CT de *Brachiaria decumbens*. a. *Glomus macrocarpum* 40x; b. *Glomus microcarpum* 40x; c. *Glomus tenebrosum* 40x; d. *Glomus badium* 100x; e. *Glomus etunicatum* 40x; f. *Entrophospora infrequens* 40x; g. Morfotipo sin identificar (2) 100x; h. *Acaulospora cavernata*40x; i. Morfotipo sin identificar (1) 100x; j. *Archaeospora myriocarpa* 100x; k. *Diversispora ebúrnea* 100x; l. *Diversispora spurca* 100x; m. *Diversispora* sp 40x.



Fuente: Autor

Tabla 4. Diversidad y abundancia de HFMA asociados a las áreas de estudio SI-M: área de depósitos mineros y SI-N: área sin intervención adyacente a los depósitos mineros, tanto en el suelo (S) como en los cultivos trampa (CT).

	SUELO		CULTIVOS TRAMPA	
	SI-M	SI-N	SI-M	SI-N
Glomeromycetes				
Morfofoto sin identificar (1)	3	63	9	16
Morfofoto sin identificar (2)		25	17	54
Archaeosporales				
* Archaeosporaceae				
<i>Archaeospora myriocarpa</i>		3		3
Diversisporales				
* Acaulosporaceae				
<i>Acaulospora cavernata</i>			1	4
<i>Entrophospora infrequens</i>			8	5
* Diversisporaceae				
<i>Diversispora ebúrnea</i>	2	6	2	14
<i>Diversispora spurca</i>		1		1
<i>Diversispora sp.</i>	1			4
Glomerales				
* Glomeraceae				
<i>Glomus badium</i>			1	
<i>Glomus macrocarpum</i>	4	69	235	238
<i>Glomus microcarpum</i>	11	338	33	322
<i>Glomus etunicatum</i>		3		19
<i>Glomus tenebrosum</i>	1		2	8
Total:	19	417	282	688

*Familias a las que pertenecen las diferentes especies y géneros. Fuente: Autor.

Fuente: Autor

En los suelos asociados a cultivos trampa, la diversidad en orden Q0 permaneció superior en el área SI-N con 12 especies. En la diversidad en orden Q1 y Q2 se encontró un resultado contrario al hallado en las muestras de suelo directo, dado que se observó

mayor diversidad en el área SI-N con respecto al área SI-M, el área SI-N presento 4 especies efectivas, las cuales en teoría tendrían abundancia similar, es decir dos veces lo encontrado en el área SI-M (Tabla 5).

Tabla 5. Diversidad de los HFMA de suelo (S) y cultivos trampa (CT), aislados de las áreas SI-M y SI-N. Riqueza de especies (diversidad de orden Q0); diversidad (diversidad de orden Q1) y dominancia (diversidad de orden Q2).

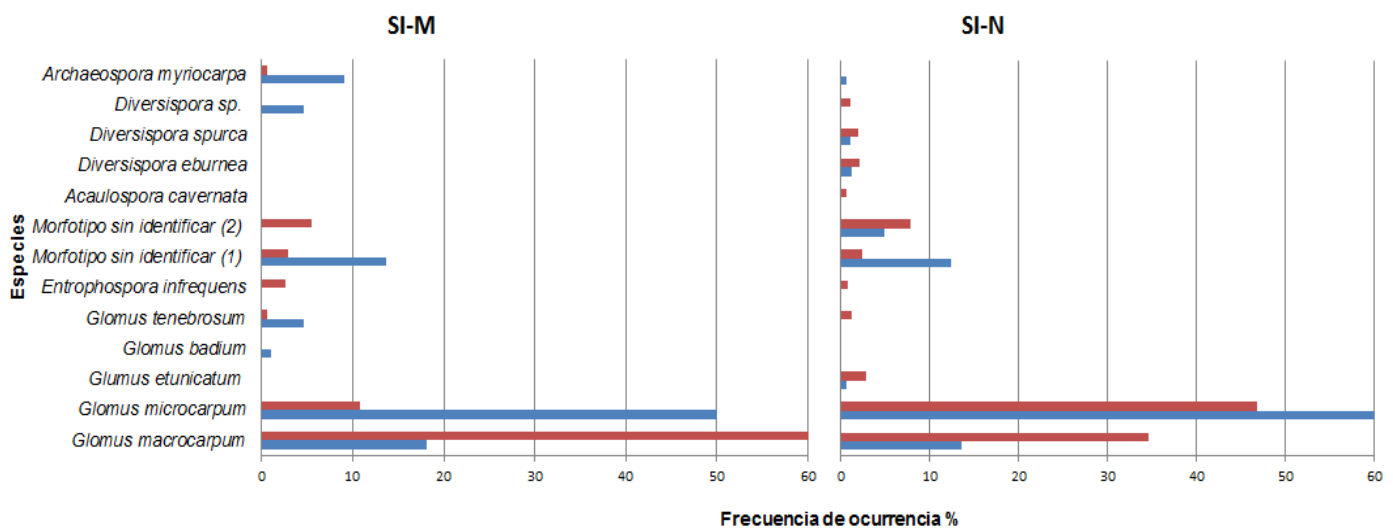
Variables	Áreas de estudio			
	S		CT	
	SI-M	SI-N	SI-M	SI-N
Especies	6	8	8	12
Individuos	22	508	307	689
Simpson_1-D	0,686	0,5208	0,3978	0,6541
Shannon_H (H')	1,427	1,075	0,8873	1,376
Diversidad en orden Q1	4,17	2,93	2,43	3,96
Diversidad en orden Q2	1,46	1,92	2,51	1,53

Fuente: Autor

En las muestras de cultivos trampa (CT), frente a la diversidad en orden Q2, el área SI-M, presentó una mayor dominancia (CT Q2: 2,46), con alrededor de 3 especies efectivas, las cuales se relacionan con *G. macrocarpum*, *G. microcarpum* y Morfotipo sin identificar (2) (Anexo 9). En el área SI-N, *G. macrocarpum* y *G. microcarpum* presentaron una alta dominancia; sin embargo, fue *G. macrocarpum* la más favorecida por las condiciones del invernadero, al aumentar la esporulación de 69 esporas en S a 238 en CT (Tabla 5.). A pesar de que *G. microcarpum* fue una de las especies con mayor dominancia en CT del área SI-N, esta no se vio favorecida por las condiciones de invernadero, donde su abundancia fue similar e incluso menor que lo encontrado directamente en el suelo (Tabla 5.).

4.3.2. Frecuencia de ocurrencia de los HFMA: La especie con mayor frecuencia de ocurrencia en las muestras de suelo de ambas áreas fue *G. microcarpum* (SI-M: 52,4%; SI-N: 65,9%) (Figura 6). En los cultivos trampa esta misma especie fue la más frecuente para SI-N (47,4%) pero fue *G. macrocarpum* la de mayor frecuencia de ocurrencia en el área SI-M (76,5%). y *G. microcarpum* en el área SI-N con un porcentaje de 47,4%.

Figura 6. Frecuencia de ocurrencia de HFMA en las área SI-M y SI-N, a partir del suelo (barras azules) y cultivos trampa (barras rojas).



El género *Glomus*, fue el más representativo en el presente estudio, con lo cual se establece su importancia en las zonas andinas con efecto de la minería de oro, con ello se confirma su amplia distribución y su tolerancia a condiciones adversas, como son la contaminación con arsénico, donde *Glomus clarum* fue aislado (Schneider et al., 2013), sequía (León, 2015), niveles de pH ácidos (Serralde & Ramírez, 2004), baja cantidad de materia orgánica, entre otras, lo cual ratifica su tolerancia a este tipo de ambientes (Schneider et al., 2013; Wei et al., 2015, Cavalcanti et al., 2014).

En especial, se reporta la especie *G. macrocarpum*, como resistente a las alteraciones por agricultura intensiva (Ramos et al., 2014), y por minería de piedra caliza y acumulación de cenizas volantes a causa de la fabricación de cementos (Rios et al., 2013; Selvam & Mahadevan, 2002), se evidencia que las especies de la familia

Glomeraceae en su gran mayoría son generalistas; esto puede estar relacionado con su gran capacidad de esporulación y su fácil adaptación a suelos degradados (Ramos et al., 2014) (Cavalcanti et al., 2014), además de encontrarse en varias regiones de Colombia, incluido el departamento del Tolima (Monroy et al., 2013; Peña, Cardona, Mazorra, Arguellez, & Arcos, 2006; Aranguen, 2015).

Es de resaltar la presencia de la especie *Glomus tenebrosum* (Anexo 6), por su presencia en los CT de las dos áreas, y solo fue encontrada una espora directamente en el suelo, a causa de posible sensibilidad a las condiciones adversas de los relaves mineros. *G. tenebrosum*, ha sido reportada en cultivos trampa de áreas degradadas por acumulación de cenizas volantes a causa de la fabricación de cementos (Selvam & Mahadevan, 2002). En Colombia, Salamanca & Silva, (1998) la encontraron directamente en el suelo del municipio de San José de Guaviare, en cuanto al departamento del Tolima, este sería el primer reporte.

La especie *Entrophospora infrequens* (Anexo 7), fue encontrada solo en los CT de las dos áreas evaluadas; *E. infrequens* al igual que *G. macrocarpum* y *G. microcarpum* ha sido observada directamente en el suelo de áreas degradadas a causa de la minería por extracción de caliza (Ríos et al., 2013). En Colombia se ha encontrado en los llanos orientales, tanto en cultivos de cítricos como en cultivos de dos variedades de maíz (Monroy, Salamanca, Cano, Moreno, & Orduz, 2013; Sarralde & Ramírez, 2004).

Otra de las especies que se logró observar solo en cultivos trampa fue *Acaulospora cavernata* (Anexo 10), con 5 esporas. Esta especie se encuentra registrada a nivel mundial en cultivos agrícolas y cultivos forestales de la especie *Thuja occidentalis* (Bárcenas, Varela, Stürme, & Chávez, 2011; Ramos et al., 2014; Souza, 2015). Sin embargo no ha sido asociada a áreas degradadas por la acción minera, por lo cual sería el primer reporte para este tipo de áreas, al igual que las especies *Glomus badium*, y *Diversispora eburnea*.

Los 10 morfotipos identificados en el presente estudio, han sido reportados en los suelos de Colombia; sin embargo para el departamento del Tolima las especies *G. tenebrosum*; *G. badium*; *G. etunicatum*; *E. infrequens*; *A. cavernata*; *A. myriocarpa*; *D. ebúrnea* y *D. spurca* probablemente representan nuevo reporte para dicho departamento.

4.3.3. Influencia de los factores fisicoquímicos sobre los HFMA: El coeficiente de correlación de Pearson, indicó que el número de esporas encontradas tanto en el área SI-M como SI-N, presenta diferencia significativa y correlación positiva con el Boro (B) y negativa con la Densidad aparente (D. apa), Sodio (Na) y el pH.

Pérez & Vertel (2010), reportan que los bajos contenidos de Na permite una mayor presencia de micorrizas, en cuanto al pH, es un parámetro fundamental que influencia la aparición de los HFMA, dado que la mayoría de ellos se aísla en un rango entre 4.0 y 5.0, debido a que dentro de estos valores, se da de forma natural el desarrollo de la simbiosis, el establecimiento en el suelo y la esporulación (Peña, Cardona, Mazorra, Arguellez & Arcos, 2006). Lo anterior, corrobora el alto número de esporas presentes en el área SI-N, donde se presenta dicho rango de pH.

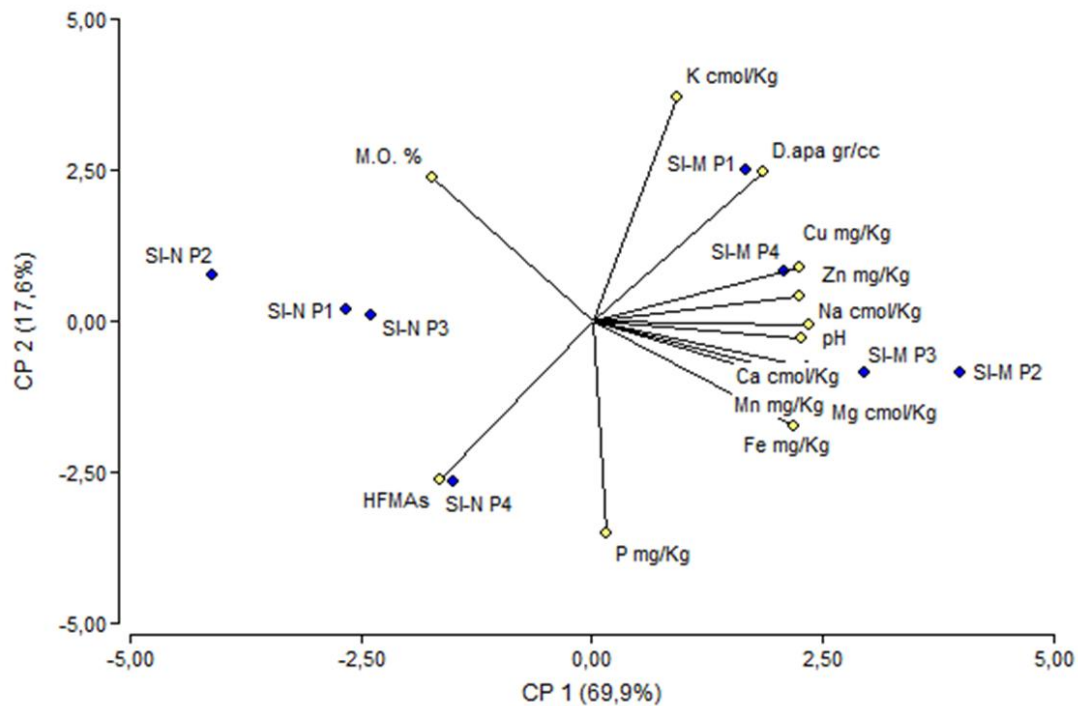
Estudios realizados en suelos ácidos de Colombia, muestran que el pH puede ser un indicador de la distribución de los HFMA, ya que se ha encontrado una correlación negativa con los géneros *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Gigaspora* y una correlación positiva con el número de espora del género *Glomus*, el cual se mantiene en rangos de pH ácidos (Serralde & Margarita Ramírez, 2004).

Sin embargo, el pH no es la única medida que influye o asegura la presencia de HFMA, esto se puede ver reflejado en el P4 del área SI-M, donde se encontró el mayor número de esporas (20) y presenta un pH neutro, lo cual ratifica la capacidad de adaptación de los HFMA a diferentes escalas de pH (Pérez & Vertel, 2010).

El porcentaje de MO presentó una relación inversamente proporcional con la D. apa y directamente proporcional con los HFMA (Perez & Vertel , 2010). En el análisis de

componentes principales (Figura 7), se puede visualizar las variables que influencia cada uno de los puntos de muestreo. El área SI-N muestra una fuerte relación entre los HFMA y la MO, lo cual es común, debido a que el contenido de materia orgánica puede ser altamente determinante para el establecimiento de poblaciones de HFMA y se ha reportado una correlación positiva entre la MO y la abundancia relativa de los géneros *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Scutellospora* (Serralde & Margarita Ramírez, 2004). Lo anterior, concuerda con lo encontrado en el área SI-N; puesto que esta presentó altos contenidos de MO y una alta abundancia de esporas, en especial el género *Glomus*.

Figura 7. Análisis de componentes principales de la variable biológica (HFMA) y las variables físico-químicas.

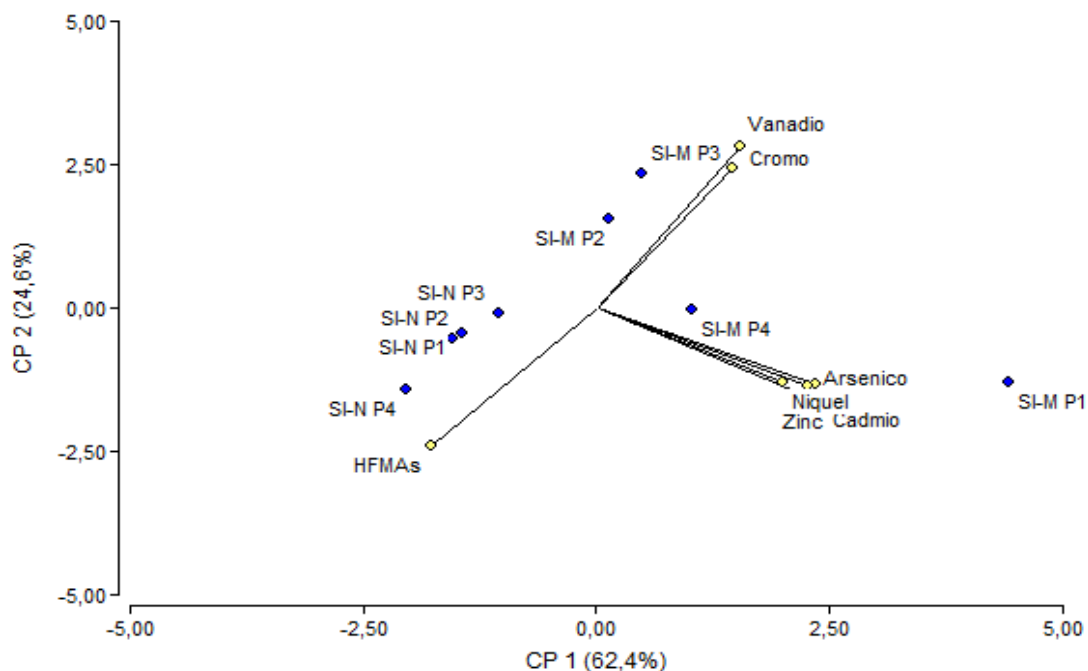


Fuente: Autor

En el análisis de componentes principales entre los HFMA y los metales pesados (Figura 8), se encontró que los HFMA están relacionados con el área SI-N y los metales pesados al área SI-M. La pérdida de HFMA en el área SI-M con respecto al área SI-N se puede dar por la disminución abrupta de las especies vegetales (Tabla 1, Tabla 4), debido a su asociación simbiótica obligada, y a las condiciones adversas del suelo, como son las

altas concentraciones de Arsénico, Níquel, Zinc, Cadmio, Vanadio y Cromo; que no permiten el mantenimiento y viabilidad de las esporas (Schneider et al., 2013). Lo que trae como consecuencia, la reducción en abundancia y diversidad de los Hongos, en especial a causa del Cromo (Cr) y el Vanadio (V) los cuales se correlaciona de manera negativa con el número de esporas, con un valor de -0,65 y -0,86 respectivamente.

Figura 8. Análisis de componentes principales para los resultados de metales pesados asociados a las áreas de estudio y la abundancia de HFMA.



Fuente: Autor

El Vanadio (V) reduce la colonización micorrizica en plantas de Leguminosas, hasta en un 73% en promedio, sin embargo, a pesar de su toxicidad, las comunidades micorrizicas son capaces de establecerse en suelo contaminados por el metal, los cuales no afectan el establecimiento de la simbiosis (Vidal, 2012). Para el caso del Cromo se reporta que este metal afecta los índices de riqueza de las comunidades de Micorrizas, reportándose una influencia negativa por parte del metal en muestras de árboles en suelos

contaminados por Cromo, donde solo se relacionan con especies de *Gigaspora* (Khan, 2001).

4.3.4. Especies de HFMA potenciales para iniciar un plan de recuperación en la zona: Las capacidades o funciones de los HFMA, varían según el suelo donde encuentran, donde su actividad puede ir desde transporte de agua y nutrientes como es el caso del género *Glomus*, abundante en cultivos de aguacate (*Persea americana* Mill) con deficiencia de materia orgánica y pH ácido, hasta fitoestabilización de metales pesados como el Plomo, en asociaciones con *Tagetes erecta*, sin embargo existen autores que indican que los HFMA promueven más la fitoextracción de metales pesados en partes aéreas de la planta que la fitoestabilización (Alvarado, Dasgupta, Ambriz, Sanchez, & Villegas, 2011; Aranguen, 2015).

Dentro de sus actividades también se encuentra la promoción de crecimiento vegetal, donde el género *Glomus* ha sido evaluado como inoculante en plantas como *Medicago sativa* (alfalfa) en suelos contaminados con cadmio (Cd), donde se encontró que *Glomus tortuosum*, mejoró el rendimiento de la alfalfa junto con fertilización con Nitrogeno (N) y es recomendada como una práctica ecológica que debe ser utilizada en suelos contaminados con Cd como lo observado en el área SI-M (Liu, Sun, Li, & Xiao, 2017). Además Schneider y colaboradores (2013), resaltan como la mezcla de diferentes especies de HFMA permitieron un mejor crecimiento de *Leucaena leucocephala* (Lam.) en suelos con altos contenidos de Arsénico (Schneider et al., 2013), donde se utilizaron especies de los géneros *Acaulospora* y *Glomus*.

En el presente estudio se dividieron las especies de HFMA en dos grupos, las primeras *G. microcarpum*, *G. macrocarpum* y Morfotipo sin identificar (1) como generalistas, al encontrarse entre 50 y 100 esporas en promedio por área de estudio, tanto en cultivos trampa como el suelo y las especies *Archaeospora myriocarpa* (Anexo 11), *Entrophospora infrequens*, *Acaulospora cavernata*, *Glomus tenebrosum*, *Glomus badium* y *Diversispora sp.* como especialistas, por encontrarse entre 1 y 5 esporas en promedio por área de estudio.

Según la variación en las funciones de los HFMA de acuerdo al suelo, y la riqueza de especies encontradas, recomendamos evaluar diferentes combinaciones entre las especies generalistas *G. microcarpum*, *G. macrocarpum* y Morfotipo sin identificar (1) y especialistas como *Entrophospora infrequens*, *Acaulospora cavernata* y *Glomus tenebrosum*, las cuales se han reportado en otras áreas degradadas por la agricultura, cultivos forestales y/o explotaciones mineras, y podrían llegar a ser más eficientes que los HFM más abundantes.

5. CONCLUSIONES

Se encontró que efectivamente el área SI-M está contaminada con metales pesados como As, Cd, Co, Pb, Zn, Cu y Vn; y los parámetros fisicoquímicos que están más alterados con respecto al área SI-N son pH, Na, Ca, Mg, Al+H, Zn, Fe y Mn.

La composición florística de las zonas analizadas fue homogénea, en el área SI-N se presentó la mayor diversidad de especies, y en el área SI-SV se evidencio la reducción de la cobertura vegetal a causa de los relaves mineros.

Las condiciones de D. apa, el pH alcalino y la disminución de MO, junto con la concentración de los metales pesados Cr y Vn afectaron considerablemente la abundancia de los HFMA en el área SI-M.

Se destaca la especie vegetales *Baccharis latifolia*, y los generos *Agrostis* y *Miconia*, junto con los HFMA *Glomus microcarpum*, *Glomus macrocarpum* y Morfotipo sin identificar (1) por presentar un potencial en procesos de fitorremediación.

Por último se resalta la presencia de *Quercus humboldtii*, como única especie maderable y vulnerable del estudio.

RECOMENDACIONES

Se sugiere utilizar la especie *Baccharis latifolia* y los géneros *Agrostis* y *Miconia* sp principalmente, en planes de restauración, por su capacidad de crecer en suelos con metales pesados y por su potencial en la fitoextracción de Plomo (Pb) y Zinc (Zn).

Evaluar de manera *in vitro* la influencia real que existe entre el Cr y el V, en el establecimiento de la simbiosis de los HFMA asociados al área SI-M, con el fin de entender si existe una fitoestabilización o fitoextracción entre los hongos de la zona y las especie herbáceas *Baccharis latifolia* y *Agrostis* sp.

Se recomienda valorar las inoculaciones con especies generalistas de HFMA (*G. microcarpum*, *G. macrocarpum* y Morfotipo sin identificar (1)), en estrategias de recuperación ambiental del área, dado que fueron las especies más abundantes del área, lo cual indica una alta tolerancia.

Realizar un seguimiento a *Quercus humboldtii*, especie catalogada como vulnerable, para que esta no se vea afectada en un futuro por la actividad minera, además, podría estar involucrada dentro del proceso de recuperación de la zona, en una segunda etapa de reforestación, lo cual beneficiaría a la especie.

Continuar con la identificación completa de la especie *Agrostis* sp. y los morfotipos sin identificar 1 de HFMA, por su posible potencial en proceso de fitorremediación debido a su abundancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarado, C.; Dasgupta, N.; Ambriz, E.; Sanchez, Y. & Villegas, J. (2011). Hongos micorrízicos arbusculares y la fitorremediación de plomo. *Revista Int. Contam. Ambie.* 27 (4), 357–364.
- Alvear, M.; Betancur, J.; Franco-Rosselli, P. (2010). Diversidad florística y estructura de remanentes de bosque Andino en la zona de amortiguación del Parque Nacional Natural los nevados, Cordillera central Colombiana. *Caldasia*, 32, 2357-3759.
- Arguello, H. (1991). La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos. *Agronomía Colombiana*, 8 (2), 384–388.
- Ariza, W.; Toro, J. & Lores, A. (2009). Análisis florístico y estructural de los bosques premontanos en el municipio de Amalfi (Antioquia, Colombia). *Colombia Forestal*. 12 (1), 1–16.
- Audet, P. & Charest, C. (2007). Dynamics of arbuscular mycorrhizal symbiosis in heavy metal phytoremediation: meta-analytical and conceptual perspectives. *Environmental Pollution* 147 (3), 609–614.
- Alianza Mundial de Derecho Ambiental (ELAW). (2010). *Guía para evaluar EIAs de Proyectos Mineros*. Recuperado de <http://www.elaw.org/files/mining-eia-guidebook/Guia%20%20para%20Evaluar%20EIAs%20de%20Proyectos%20Mineros.pdf>.
- Arias, M. & Barrera, J. (2007). Caracterización florística y estructural de la vegetación vascular en áreas con diferente condición de abandono en la Cantera Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá. *Universitas Scientiarum*, 12, 25-45.
- Aranguen, R. (2015). *Caracterización y obtención de cultivos puros de esporas nativas del género Glomus sp. Asociadas a rizósfera de aguacate*. (Tesis de pregrado) Universidad del Tolima, Ibagué.
- Bárcenas.; Varela.; Stürme. & Chávez. (2011). *Catálogo de hongos micorrizógenos arbusculares de huertos de aguacate de Michoacán, Mexico*. Recuperado de <http://www.worldavocadocongress2011.com/userfiles/file/Ana%20Barcenas-Ortega.pdf>

- Barrera, J.; Contreras, S.; Garzón, N. & Moreno, A. (2010). Manual para la restauración ecológica de los ecosistemas disturbados del distrito capital (Pontificia). Bogotá. Recuperado de http://oab.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/manual_restauracion.pdf
- Bashan, Y.; Puente, E.; Bashan, L. & Hernandez, J. (2008). Environmental uses of plant growth-promoting bacteria. *Plant-Microbe Interactions*, 661 (2), 69–93.
- Bashan, Y.; Khaosaad, T.; Salazar, B.; Ocampo, J.; Wiemken, A. & Oehl, F. (2007). Mycorrhizal characterization of the boojum tree, *Fouquieria columnaris*, an endemic ancient tree from the Baja California Peninsula, Mexico. *Trees*, 21 (3) 329-335.
- Bagyaraj, J. & Stürmer, S. (1995). *Manual de Biología de Suelos Tropicales. Cap 7 Hongos micorrizógenos arbusculares (HFMA)*. Recuperado de <http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/libros/667/cap7.pdf>
- Becerril, J.; Barrutia, O.; García, J. & Hernández, A. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas*, 16, 50-55.
- Bech, J.; Duran, P.; Roca, N.; Poma, W.; Sánchez, I.; Barceló, J., ... Poschenrieder, C. (2012). Shoot accumulation of several trace elements in native plant species from contaminated soils in the Peruvian Andes. *Journal of Geochemical Exploration*, 113, 106–111.
- Bravo, I.; Arboleda, C.; Pardo, A. & Francisco, P. (2014). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio, en sistemas alto andinos de Colombia. *Acta Agron*, 64, 164 - 174
- British geological survey. (2014). *World mineral production 2008-2012*,. Recuperado de <https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=2897>
- Brunel, N. & Seguel, O. (2011). Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro Sur*, 39,1-12.
- Blaszkowsky, J. (2003). *Arbuscular Mycorrhizal fungi (Glomeromycota), Endogone and Complexipes species deposited in the Department of Plant Pathology*. Szczecin, Poland.: Interart Studio. Recuperado de <http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/>
- Cavalcanti, A.; Vanusa, M.; Catanho, M.; Barreto, M.; Ribeiro, M. & Costa, L. (2014). Caracterização morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares

- isolados de áreas de mineração de gesso, Araripina, PE, Brasil. *Hoehnea*, 41 (3), 393-400.
- Casas, R. (2012). *El suelo de cultivo y las condiciones climaticas*. Madrid: Editorial Paraninfo.
- Ceron, P. & Garcia, H. (2009). Propiedades del suelo en bosque y pajonal; reserva natural pueblo viejo, Nariño. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12, (1), 113–120.
- CETESB. (2005). *Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. Decisão da diretoria nº 195/2005 de 23/11/2005*. São Paulo. Recuperado de http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf
- Cortolima. (2014). *Cortolima*. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_coello/diagnostico/f25.pdf
- Cortolima. (2009). *Cortolima*. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_totare/diagnostico/kj_210111_flora.pdf
- Colodete, C.; Dobbss, L. & Ramos, A. (2014). Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. *Natureza on Line*, 12 (1), 31-37
- Daza, P. (2010). *Aislamiento de microorganismos de la rizosfera de la rizosfera de Leucaena y evaluación de su uso potencial en la rehabilitación de suelos degradados* (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias: Universidad Nacional de Colombia, Medellin, Colombia.
- Daza, P. & Osorio, N. (2011). Promoción de crecimiento y absorción de fosforo de plantulas de Leucaena por un hongo micorrizal en un suelo degradado por minería de aluvi6n. *Suelos Ecuatoriales*, 41 (2), 144-149
- Ding, Q.; Cheng, G.; Wang, Y. & Zhuang, D. (2016). Effects of natural factors on the spatial distribution of heavy metals in soils surrounding mining regions. *Science of the Total Environment*, 578, 577-585.
- dos Santos, J. V. (2010). *Biomassa e atividade microbiana como indicadores da reabilita76o de 6reas contaminadas por elementos-tra76o* (Tesis de maestría). Universidade Federal de Lavras, Minas gerais, Brasil

- Ernst, W. (2006). Evolution of metal tolerance in higher plants. *Forest Snow and Landscape Research*, 80 (3), 251–274.
- Fernandez, S.; Poschenrieder, C.; Marceno, C.; Gallego, J. R.; Jimenez-Gamez, D.; Bueno, A. & Afif, E. (2016). Phytoremediation capability of native plant species living on Pb-Zn and Hg-As mining wastes in the Cantabrian range, north of Spain. *Journal of Geochemical Exploration*, 174, 10-20
- Fedesarrollo. (2008). *La minería en Colombia: impacto socioeconómico y fiscal*. Recuperado de <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/La-miner%C3%ADa-en-Colombia-Informe-de-Fedesarrollo-2008.pdf>
- Galán, E. & Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de La Sociedad Española de Mineralogía*, 10, 48–60.
- Genre, A.; Chabaud, M.; Faccio, A.; Barker, D. & Bonfante, P. (2008). Prepenetration Apparatus Assembly Precedes and Predicts the Colonization Patterns of Arbuscular Mycorrhizal Fungi within the Root Cortex of Both *Medicago truncatula* and *Daucus carota*. *The Plant Cell*, 20 (5), 1407-1420.
- Gerdemann, J. W. & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 2, 235–244.
- Gill, S. S. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 12, 909–930.
- Grümbert, B.; Conforto, C.; Rovea, A.; Boxler, M.; March, G. & Luna, C. (2010). La glomalina y su relación con la productividad del cultivo de maíz. *XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo – AACCS*, 2, 23-25.
- Guiza, L. (2013). La pequeña minería en Colombia: Una actividad no tan pequeña . *Dyna*, 181, 109-117.
- Hashem, A.; Allah, E.; Alqarawi, A. A. & Egamberdieva, D. (2016). Bioremediation of adverse impact of cadmium toxicity on *Cassia italica* Mill by arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 1, 39–47.
- Harley, J.; & Simth, S. (1983). "Mycorrhizal Symbiosis". *Academic Press. London*
- Hakeem, K. R.; Sabir, M.; Öztürk, M.; Mermut, A.; Jan, A.; Ali, A. & Rizwanul Q. (2015). Soil Remediation and Plants. *Elsevier*, (1), 125-132.

- Hill, M. (1973). Diversity and Evenness: a Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, 54, 427-432.
- Hildebrandt, U.; Regvar, M. & Bothe, H. (2007). Arbuscular mycorrhiza and heavy metal tolerance. *Phyto-chem*, 68, 139-146.
- INSTITUTO SINCHI. (2014). *Desarrollar estrategias de restauracion ecologica*. Recuperado de <http://sinchi.isometri.co/index.php/centro-de-informacion-y-divulgacion/publicaciones/rev-col-amaz/163-subactividades-componente-1-bipin-2012-ecosistemas-5/1467-subactividad-1-desarrollar-estrategias-de-restauracion-ecologica-ejecucion-100>
- INVAM. (2017). *The INternational Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM)*. Virginia, EU.: Virginia University. Recuperado de <http://invam.wvu.edu/>
- Jeremic, S.; Beškoskib, V.; Djokica, L.; Vasiljevic, B.; Vrvicb, M.; Avdalovicc, J. & Nikodinovic, J. (2016). Interactions of the metal tolerant heterotrophic microorganisms and iron oxidizing autotrophic bacteria from sulphidic mine environment during bioleaching experiments. *Journal of Environmental Management*, 1, 151-161.
- Khan, A. G. (2001). Relationships between chromium biomagnification ratio , accumulation factor , and mycorrhizae in plants growing on tannery effluent-polluted. *soil*, 26, 417–423.
- Krishnamoorthy, R.; Kim, C.; Subramanian, P.; Kim, K.; Selvakumar, G. & Sa, T. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi community structure, abundance and species richness changes in soil by different levels of heavy metal and metalloids concentration. *PLoS One*, 10 (6), 1-10.
- Leon, D. (2006). *Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Leon, 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)* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

- Lee, J.; Lee, S. & Young, P.W. (2008). Improved PCR primers for the detection and identification of arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS Microbiol*, 65, 339–349.
- Liu, M.; Sun, J.; Li, Y. & Xiao, Y. (2017). Chemosphere Nitrogen fertilizer enhances growth and nutrient uptake of *Medicago sativa* inoculated with *Glomus tortuosum* grown in Cd-contaminated acidic soil. *Chemosphere*, 167, 204–211.
- Leung, H. M.; Ye, Z. H. & Wong, M. H. (2006). Interactions of mycorrhizal fungi with *Pteris vittata* (As hyperaccumulator) in As-contaminated soil. *Environ. Pollut.* 139 1–8.
- Leung, H. M.; Ye, Z. & Wong, M. (2007). Survival strategies of plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi on toxic mine tailings. *Chemosphere*, 66, 905–915.
- Marique, J., & Perico, P. (2016). *Producción y exportaciones de metales preciosos en Colombia primer trimestre 2016*. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/analisis-minero>
- Marrugo Negrete, J.; Marrugo Madrid, S.; Pinedo Hernandez, J.; Durango Hernandez, J. & Diez, S. (2016). Screening of native plant species for phytoremediation potential at a Hg-contaminated mining site. *Science of the Total Environment*, (542), 809–816.
- Meier, S.; Borie, F.; Bolan, N. & Cornejo, P. (2012). Phytoremediation of Metal-Polluted Soils by Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42 (7), 741–775.
- Ministerio de Minas y Energía. (2012). *Censo Minero Departamental 2010-2011*. Bogota, D.C. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/censominero>
- Maiti, S. (2003). Moef report on "An assessment of overburden dump rehabilitation technologies adopted in CCL, NCL, MCL, and SECL mines". *Soil Research*, 38, 313-327.
- Migueláñez, V. (2014). *Diagnóstico ambiental de suelos contaminados por actividades mineras y evaluación de técnicas de estabilización para su recuperación* (Tesis doctoral). Universidad de Salamanca, Salamanca, España.
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Fascículo: Comportamiento de la Producción Minera y Exportaciones en Colombia Primer Trimestre de 2015*. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/boletines?idBoletin=238>

- Moreno, C.; Barragán, F.; Pineda, E. & Pavon, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (2), 1249-1261.
- Mossa J., & James A. (2013) Changing fluvial systems. *Physical* , 34 (4), 267-272.
- Monroy, H. J.; Salamanca, C.; Cano, C.; Moreno, L. & Orduz, J. (2013). Influencia de las coberturas en cultivos de cítricos sobre los hongos formadores de micorrizas arbusculares en Oxisoles del piedemonte llanero colombiano. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14 (1), 53-65.
- Moline, Ederlon.; Barboza, Eliza.; Ferreira, Geraldo.; Cosma, Elaine.; Schindwein, J. (2011). Estimativa do valor de H+Al por correlação com o pH smp em solos de de rondônia. *Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, 7 (12), 1–5.
- Nikolić, M. & Stevović, S. (2015). Family Asteraceae as a sustainable planning tool in phytoremediation and its relevance in urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14 (4) , 782-789.
- Oblasser, A. & Chaparro, E. (2008). *Estudio comparativo de la gestión de los pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos*. Recuperado de <http://centroderecursos.cultura.pe/sites/default/files/rb/pdf/gestiones%20ambientales.pdf>
- Peña, C.; Cardona, G.; Mazorra, A.; Arguellez. & Arcos, A. (2006). *Micorrizas Arbusculares de la Amazonia Colombiana Catálogo Ilustrado*. Recuperado de <http://sinchi.isometri.co/>
- Perez C. & Vertel M. (2010). Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A *Camus pasture*. *Revista MVZ Cordoba*, 15 (3), 2165–2174.
- Prieto Méndez, J.; González Ramírez, C. A.; Román Gutiérrez, A. D. & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 29 - 44 .
- Ramírez Gómez, M. & Rodríguez, A. (2012). Mecanismos de defensa y respuestas de las plantas en la interacción micorrícica: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14 (1), 271-284.
- Ramírez, M. (2014). *Evaluación de la diversidad de Hongos Formadores de Micorrizas*

- Arbusculares (HFMA) y su relación con el establecimiento de simbiosis con Physalis peruviana L.* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Bogota, Colombia
- Ramos, P.; Saggin, O.; Barbosa, H.; Stürmer, S.; Siqueira, J. & Carbone, M. (2014). Fungos micorrízicos arbusculares em campos de murundus após a conversão para sistemas agrícolas no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38, 1703-1711.
- Rangel, J.; Lowy, P. & Aguilar, M. (2011). *Colombia Diversidad Biótica II Tipos de vegetación en Colombia*. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia
- Rios, T.; Gomes, R.; Costa, L.; Oehl, F. & Pereira, C. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi in a semi-arid, limestone mining-impacted area of Brazil. *Acta Botanica Brasílica* 27 (4), 688–693.
- Rioja Molina, A. (2002). *Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A.* Ciudad Real.
- Rodríguez, N. (2010). *Estado actual de la vegetación y del suelo en parcelas enmendadas con biosólidos seis años después de su implementación en la Cantera De Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá DC.* (Tesis de pregrado), Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- Rojas, J. (2013). *Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra direct.* Buenos Aires : INTA Centro Regional Chaco Formosa .
- Rueda, G., Rodriguez, J., & Madriñan, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *ACTA AGRONÓMICA*, 60 (3), 203-218 .
- Salamanca, A. & Sadeghian, S, (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56 (4), 381–397.
- Salamanca, C. R. & Silva, M. (1998). *Las micorrizas como alternativa para el manejo sostenible de los agroecosistemas tropicales*. Bogotá: Corpoica.
- Sarmiento, Y. (2008). Restauración en explotaciones de minas caliza. *Luna Azul*, 27 , 75–84.
- Sarralde, A. & Ramírez, M. (2004). Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Corpoica*, 5 (1), 31-40.
- Selvam, A. & Mahadevan, A. (2002). Basic and Applied Ecology Distribution of mycorrhizas in an abandoned fly ash pond and mined sites of Neyveli Lignite

- Corporation Tamil Nadu*, 284 (40), 277–284.
- Seccatore, J.; Veiga, M.; Origliasso, C.; Marin, T. & De Tomi, G. (2014). An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Science of the Total Environment*, 496, 662–667.
- Schneider, J.; Labory, C.; Rangel, W.; Alves, E.; Guilherme, L. & Guimarães. (2013). Anatomy and ultrastructure alterations of *Leucaena leucocephala* (Lam.) Inoculated with mycorrhizal fungi in response to arsenic-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 1245–1258.
- Schneider, J.; Stürmer, S.; Guilherme, L.; Moreira, S. & Soares, C. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi in arsenic-contaminated areas in Brazil. *Journal of Hazardous Materials*, 262, 1105–1115.
- Sheoran, V.; Sheoran, A.; Poonia, P. (2010). Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3 (2), 1-20
- Sieverding, E. (1983). *Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo arbúscular en el laboratorio*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT.
- Siqueira.; Santos.; Schneider. & Carneiro. (2007). Micorrizas e a degradação do solo: caracterização, efeitos e ação recuperadora. *Tópicos em Ciências Solo*, 5, 219-306.
- Sobral, L.; Barreto, J. & Carballo, F. (2005). Cianuración por agitación para la disolución de oro de las menas de ponce enriquez (provincia del azuay - ecuador). L, Sobral, *XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa* (pp 1-6). Natal-RN.
- Souza, T. (2015). *Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. Paraiba: Springer
- Shiavo, J. (2005). *Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de Acacia mangium, Sesbania virgata E Eucalyptus camaldulensis*. (Tesis), Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- Smith, M.; Charvat, I. & Jacobson, L. (1998). Arbuscular mycorrhizae promote establishment of prairie species in a tallgrass prairie restoration. *Canadian Journal of Botany*, 76, 1947-1954.

- SIMCO. (2011). *Producción oficial de minerales en Colombia*. Recuperado de: <http://www.simco.gov.co/simco/Estad%C3%ADsticas/Producci%C3%B3n/tabid/121/Default.aspx>.
- Spruyt, A.; Buck, M.; Mia, A. & Straker, C. (2014). Arbuscular mycorrhiza (AM) status of rehabilitation plants of mine wastes in South Africa and determination of AM fungal diversity by analysis of the small subunit rRNA gene sequences. *South African Journal of Botany*, 94, 231-237.
- Schüßler. (2013). *PHYLOGENY*. Recuperado de : <http://www.amf-phylogeny.com>.
- Torres, A. J. (2013). *Estudio de la composición fisicoquímica de los lodos fluviovolcánicos de armero-tolima y su relación con los procesos de sucesión vegetal 25 años después de la erupción del volcán arenas del nevado del ruíz*. (Tesis de pregrado), Universidad del Tolima, Ibagué.
- Usuga, C.; Castañeda, D & Franco, A. (2008). Multiplicación de hongos micorriza arbuscular (h.m.a) y efecto de la micorrización en plantas micropropagadas de banano (Musa AAA cv. Gran Enano) (Musaceae) . *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 61 (1), 4279-4290.
- Vasavi, A.; Usha, R. & Swamy, P. M. (2010). Phytoremediation – an overview review., *Journal of Industrial Pollution Control* 26 (1), 83–88.
- Vidal, J. (2012). *Respuesta de la simbiosis tripartita rhizobium-leguminosa-micorriza arbuscular ante vanadio y níquel*. (Tesis de maestría), Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, Montecillo.
- Wei, Y.; Chen, Z.; Wu, F.; Hou, H.; Li, J.; Shanguan... Zeng, Q. (2015). Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi at a large-scale antimony mining area in southern China. *Journal of Environmental Sciences*, 29, 18–26.
- Wei, Y.; Hong, H.; Li, J.; ShangGuan, Y.; Xu, Y.; Zhang, J., ... Wang, W. (2014). Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with an Mn hyperaccumulator-*Phytolacca americana*, in Mn mining area. *Applied Soil Ecology*, 82, 11–17.

ANEXOS

Anexo A. Resultados fisicoquímicos por punto de muestreo.

	SI-M			SI-N				
AREA	SI-M P1	SI-M P2	SI-M P3	SI-M P4	SI-N P1	SI-N P2	SI-N P3	SI-N P4
Textura % A	62,50	77,50	54,50	72,50	73,50	79,50	78,50	80,50
Textura % L	34,00	19,00	38,00	20,00	19,00	17,00	18,00	16,00
Textura % Ar	3,50	3,50	7,50	7,50	7,50	3,50	3,50	3,50
D.apa g/cc	1,24	1,08	1,07	1,24	0,93	0,88	0,89	0,89
C.Elect. mS	3,00	581,9	505,6	609,4	184,7	216,6	172,9	150,5
Ph	5,99	7,56	7,37	7,06	5,02	4,95	5,09	5,24
MO %	4,79	0,56	0,56	1,59	3,76	4,23	3,52	2,96
S mg/Kg¹	111	14,4	23,3	26,7	12,3	16,7	17,7	13,1
P mg/Kg¹	0,98	2,98	4,00	6,06	1,98	0,98	1,98	12,5
Na cmol_c/Kg¹	0,38	0,46	0,40	0,38	0,16	0,10	0,18	0,25
K cmol_c/Kg¹	0,30	0,19	0,20	0,30	0,20	0,20	0,18	0,16
Ca cmol_c/Kg¹	3,66	4,22	3,93	3,66	2,87	2,62	3,01	3,36
Mg cmol_c/Kg¹	0,92	1,05	0,99	0,92	0,76	0,71	0,79	0,87
Al+H cmol_c/Kg¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,83	0,60	0,37
CIC	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15
Cu mg/Kg	0,65	0,62	0,54	0,50	0,28	0,12	0,20	0,30

1

	SI-M				SI-N			
Zn mg/Kg 1	1,33	1,45	1,12	1,10	0,66	0,46	0,75	0,85
Fe mg/Kg 1	78,85	112,60	110,60	95,26	65,25	40,22	61,23	86,62
Mn mg/Kg 1	48,66	85,65	80,44	42,32	27,56	10,26	27,45	33,68
B mg/Kg¹	0,30	0,35	0,33	0,46	0,54	0,28	0,38	0,69
PUNTO	SI-M				SI-N			
	SI-M	SI-M P2	SI-M P3	SI-M P4	SI-N	SI-N	SI-N	SI-N
	P1				P1	P2	P3	P4
Arsénico ppm	122	13	14	51	4	7	7	7
Cadmio ppm	506	22	18	54	7	7	7	7
Cromo ppm	60	60	79	5	1	1	18	12
Cobalto ppm	155	11	9	11	1	1	3	1
Plomo ppm	1687	45	80	340	14	10	7	7
Zinc ppm	6120	450	436	755	101	92	71	92
Cobre ppm	143	22	24	57	2	7	7	7
Vanadio ppm	74	82	115	96	38	32	30	6
Níquel ppm	47	11	8	47	9	8	13	10

Anexo B. Descripción de *Glomus macrocarpum* Tul. & C. Tul. (Tulasne & Tulasne, 1844)

Esporas globosas a subglobosa, con un diámetro entre 120-180 μm y de color marrón naranja la mayoría (0-40 -80-0) (Figura 1. a). Presenta una pared finamente laminada de 9-12 μm de ancho que no reacciona en Melzer (Figura 1. b). El subtendido de la hifa es continuo con la pared de la espora y no presenta septo (Figura 1. c y d).

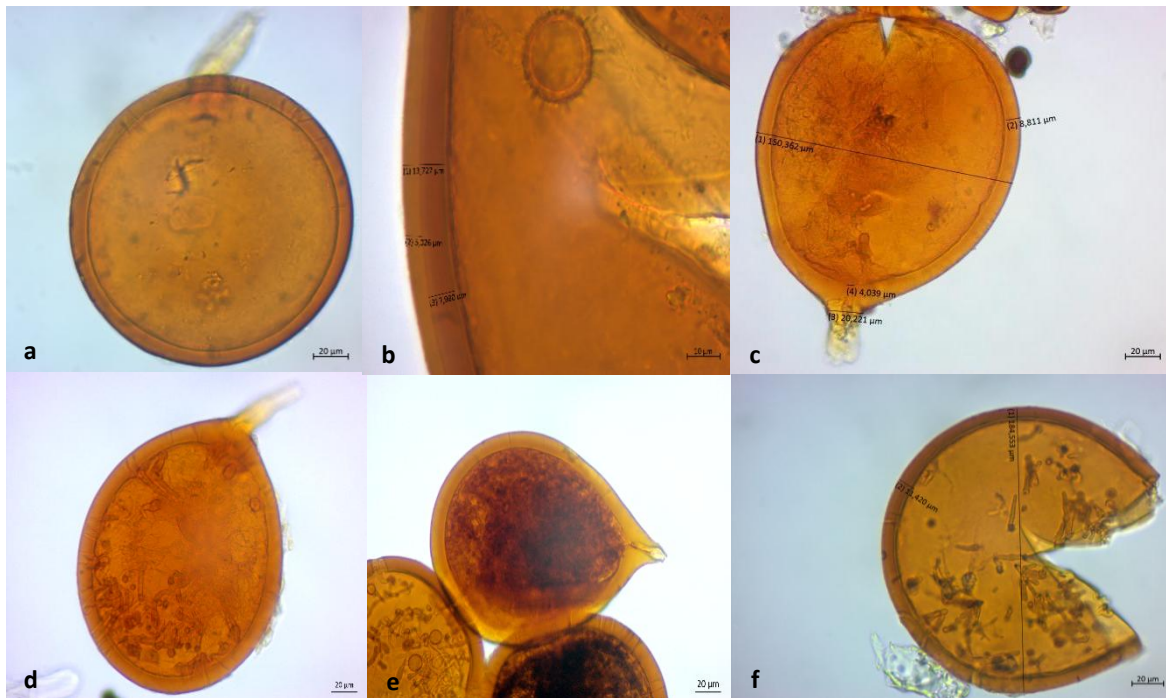


Figura 1. *Glomus macrocarpum* en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a) diámetro de *G. macrocarpum*, 40x PVLG; b) tamaño de la pared y láminas de *G. macrocarpum*, 100x PVLG c) *G. macrocarpum*, 40x en reactivo de melzer d) y e) conexión hifal de *G. macrocarpum*, 40x PVLG. f) Espora de *G. macrocarpum* abierta en el objetivo de 40x.

Anexo C. Descripción de *Glomus microcarpum* Tul. & C. Tul. (Tulasne & Tulasne, 1845).

Esporas globosas, normalmente agrupadas en esporocarpos, de amarillo naranja pálido 0-5-20-0 a amarillo marrón (0-10-80-0), con una pared laminada de 4-9 μm de ancho (Figura 2. a, c y d). El diámetro de la espora va de 40-70 μm y su conexión hifal es del mismo color de la espora, larga y un poco estrecha en la base sin cerrarse en un septo (Figura 2. b y c). No hay reacción en melzer.

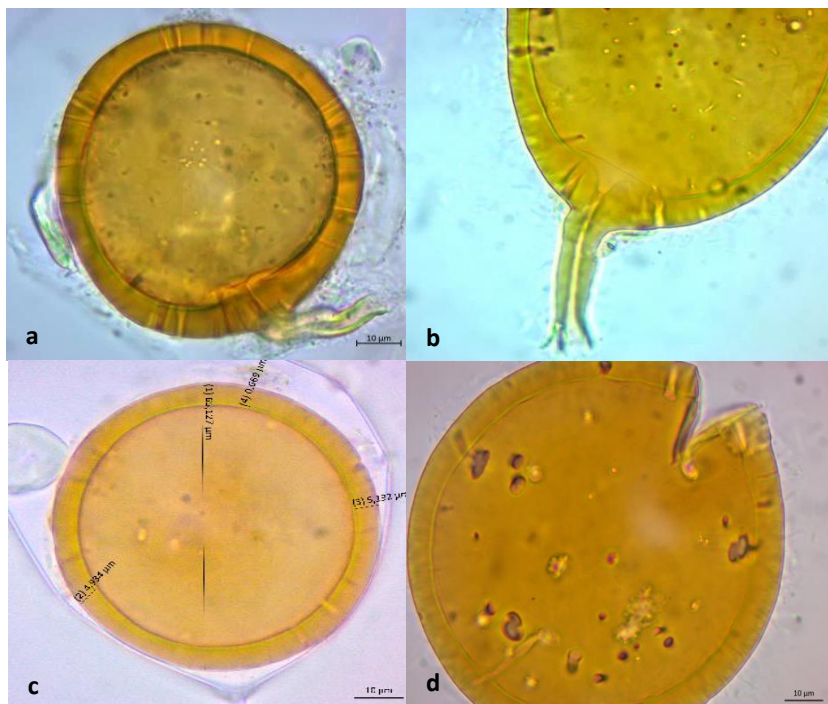


Figura 1. *Glomus microcarpum* obtenida en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a y b) *G. microcarpum* 100x PVLG; VLG; c y d) *G. microcarpum* 40x PVLG.

Anexo D. Descripción de *Glomus badium* Oehl, D. Redecker & Sieverd. (Oehl, Redecker, & Sieverding, 2005).

Produce densos esporocarpos de color amarillo-naranja (0-10-40-0) y con un diámetro de la espora entre 23-28 μm , con una sola pared de 1,8-2,3 μm (Figura 3. c). Su conexión hifal es del mismo color de la espora, y posee un tamaño en la base de la espora entre 2,5-3,43 μm el cual se hace mas más angosto a medida que avanza el largo de la hifa (Figura 3. b, c y d).

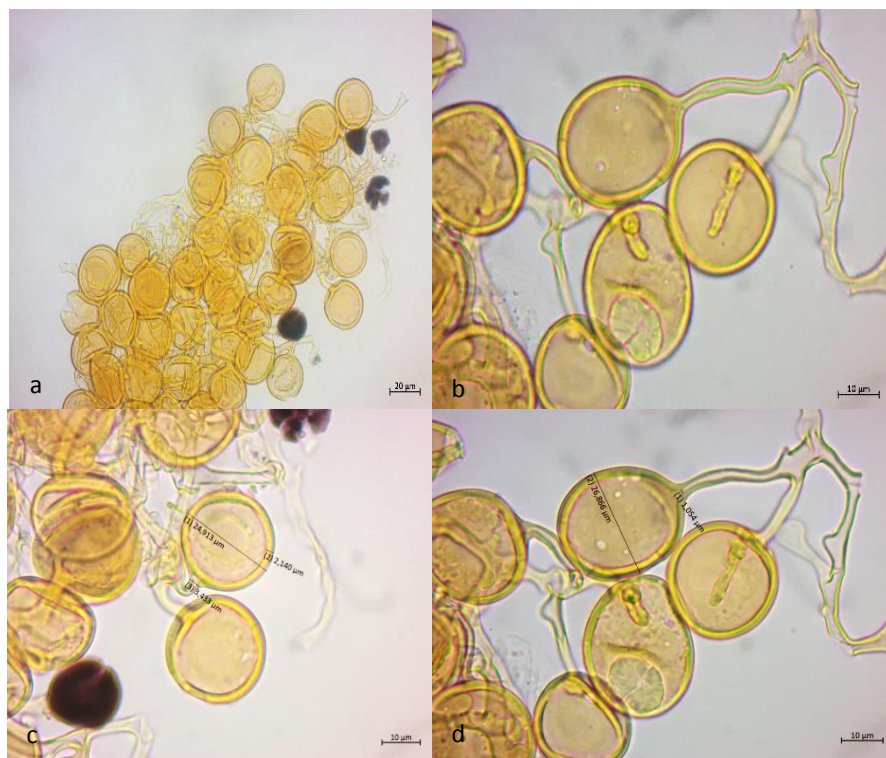


Figura 1. *Glomus badium* obtenida directamente del suelo. a) Esporocarpo de *G. badium* en 40 x, PVLG; b) esporocarpo de *G. badium* en 100 x, PVLG; c y d) medidas del diámetro y base de la espora de *G. badium* 100x, PVLG.

Anexo E. Descripción de *Glomus etunicatum* W.N. Becker & Gerd. (Becker & Gerdemann, 1977)

Esporas globosas y alargadas, de color marrón (40-50-70-10), entre 103-107 μ m de largo y entre 72-80 μ m de ancho, con una sola pared laminar la cual mide entre 7 y 7,5 μ m (Figura 4. a, c y d). Presenta manchas en la pared cuando se encuentra en el reactivo del Melzer.

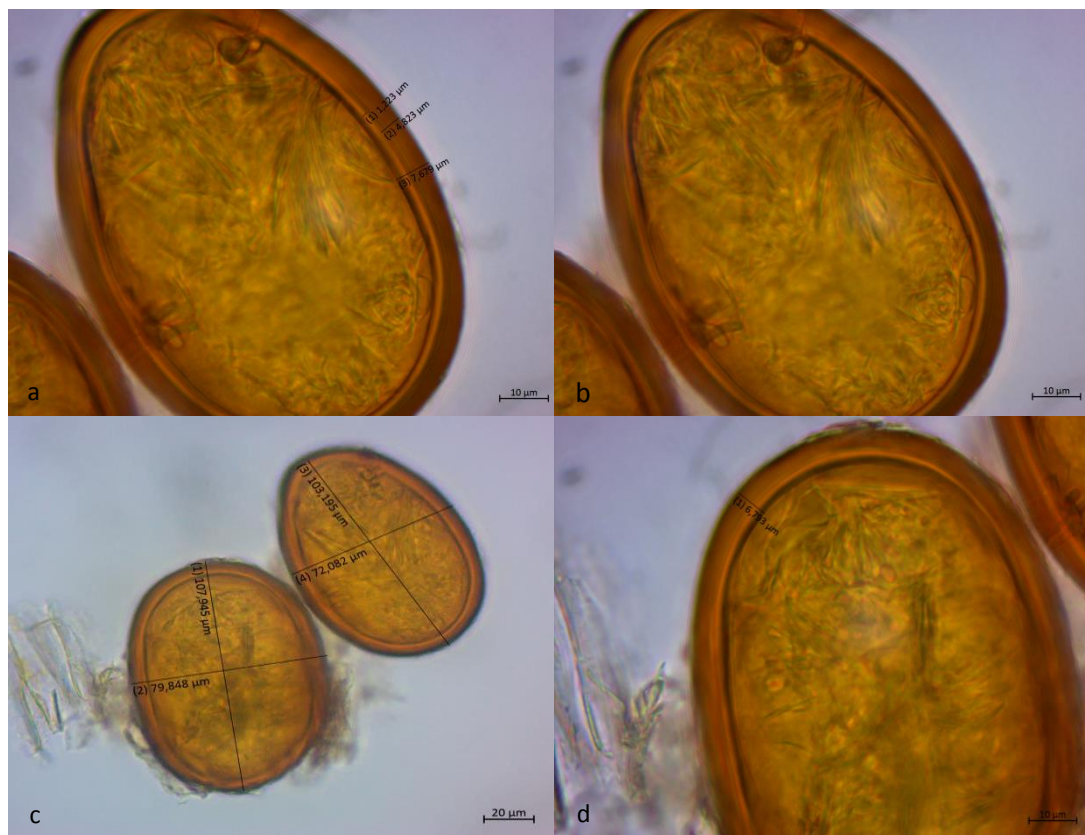


Figura 1. Esporas de *Glomus etunicatum* en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a) Medidas de la pared de *Glomus etunicatum*, 100x, PVLG; b) espora de *Glomus etunicatum* 100x, PVLG; c) largo y ancho de dos esporas de *Glomus etunicatum* 40x, PVLG; d) medida de la pared de *Glomus etunicatum*, 100x, PVLG

Anexo F. Descripción de *Glomus tenebrosum* (Thaxt.) S.M. Berch. (Berch & Fortin, 1983).

Esporas globosas de color naranja oscuro (0-60-100-0), con un diámetro entre 200-250 μ m (Figura 5, a). Posee una pared gruesa y muy laminar entre 20-24 μ m de ancho (Figura 5, b y d). No presentan reacción en melzer.

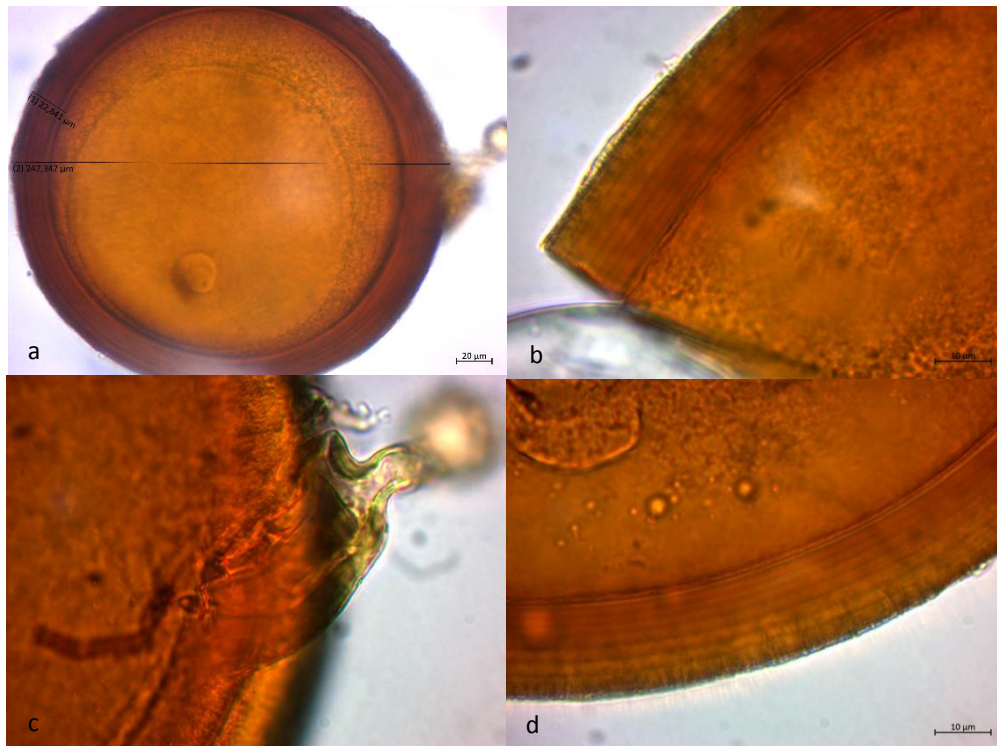


Figura 1. *Glomus tenebrosum* en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a) Espora de *G. tenebrosum* 40 x, PVLG: 1) ancho de la pared, 2) diámetro de la espóra; b y d) pared laminada de *G. tenebrosum* 100x PVLG; c) conexión hifal de *G. tenebrosum* 100x PVLG.

Anexo G. Descripción de *Entrophospora infrequens* (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneid. (Ames & Schneider, 1979)

Esporas globosas de 170-280 μm , de color naranja claro (0-30-80-0) a naranja marrón oscuro (0-60-100-0) (Figura 6. d), formada por dos paredes: la primera o externa, totalmente ornamentada con un patrón rugoso y uniforme sobre la superficie de la espora (Figura 6. a y c). La segunda pared es laminar y presenta una coloración marrón en el reactivo de Melzer (Figura 6. b y c).

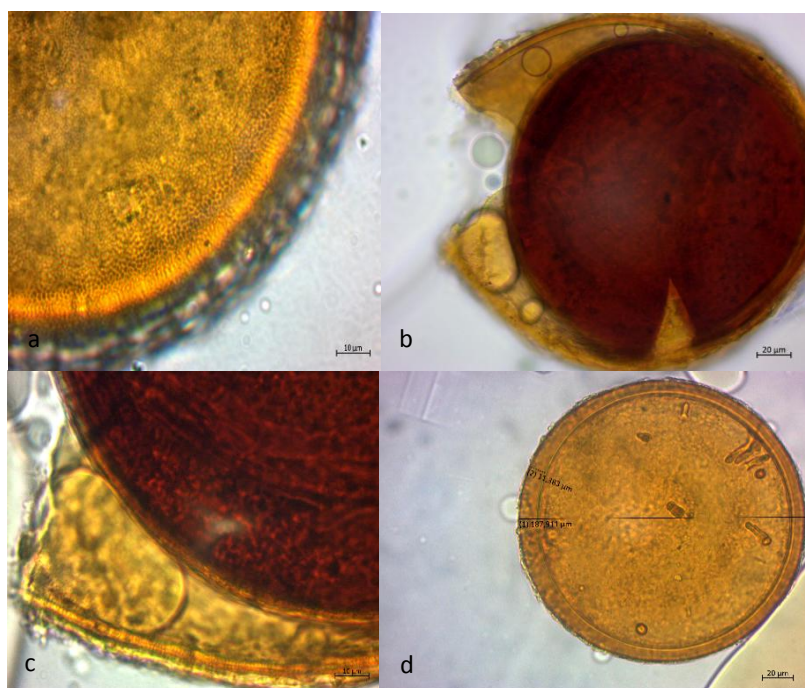


Figura 1. *Entrophospora infrequens* en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a) Primera pared ornamentada con un patrón rugoso y uniforme sobre la superficie de la espora de *E. infrequens* a 100x en PVLG; b) reacción en Melzer de la pared interna de *E. infrequens* 40x PVLG + Melzer; c) *E. infrequens* 100x PVLG + Melzer; d) *E. infrequens* 40x PVLG: 1) diámetro de la espora, 2) ancho de la primera pared.

Anexo H. Descripción de Morfotipo sin identificar (1).

Esporas globosas, entre 70-75 μ m de diámetro. Se encuentran generalmente solas de color marrón rojizo (0-50-60-0). Presentan una pronunciada ornamentación en su primera pared, la cual se prolonga de adentro hacia afuera y no permite diferenciar bien las paredes de la espora. No presenta coloración en melzer.

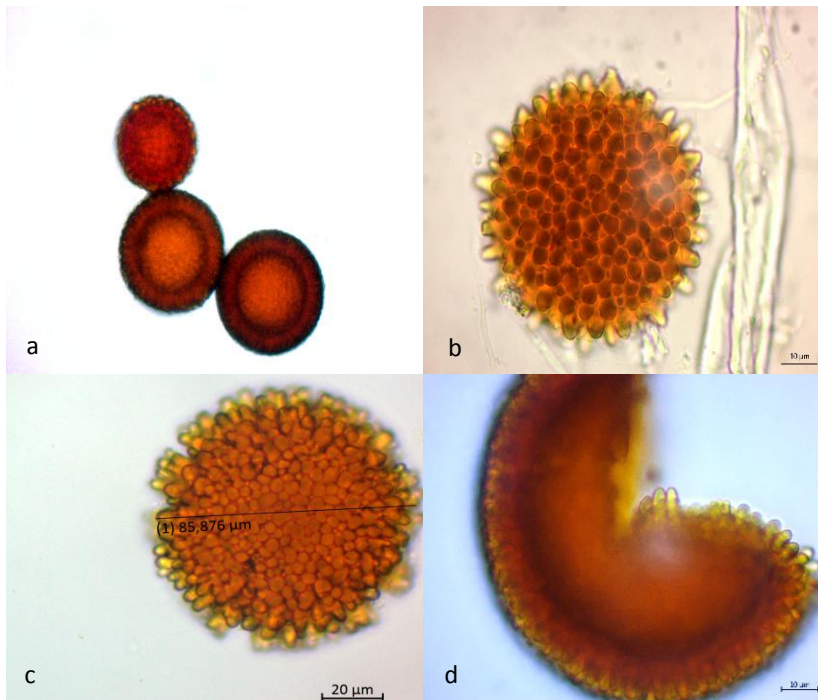


Figura 1. Esporas de Morfotipo sin identificar (1) en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a) Tres esporas de morfotipo sin identificar (1), 10x en PVLG; b) espora de morfotipo sin identificar (1), 40x, PVLG; c) diámetro de morfotipo sin identificar (1); d) espora abierta de morfotipo sin identificar (1), en donde se observan levemente sus paredes.

Anexo I. Descripción de Morfotipo sin identificar (2)

Esporas globosas, entre 70-75 μm de diámetro. Se encuentran generalmente solas de color naranja marrón (0-20-60-0) a naranja marrón oscuro (0-10-60-0). Se caracterizan por presentar 3 paredes (L1: 3.03 μm ; L2: 5,17 μm) y por tener una pronunciada ornamentación en su primera pared, la cual se prolonga de adentro hacia afuera. No presenta coloración en melzer.

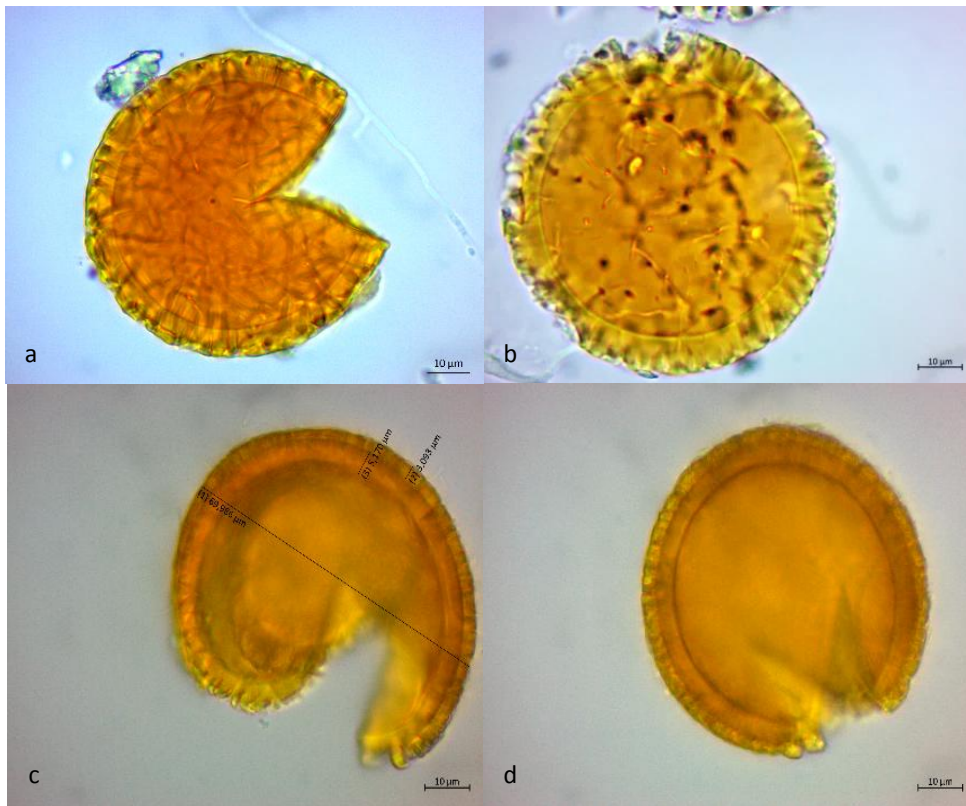


Figura 1. Esporas de Morfotipo sin identificar (2) en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens* a 100x en PVLG. a) Espora abierta de morfotipo sin identificar (2), donde se pueden visualizar sus paredes; b) morfotipo sin identificar (2), con un diámetro de 65 μm ; c y d) medida de la espora abierta y las paredes de morfotipo sin identificar (2).

Anexo J. Descripción de *Acaulospora cavernata* Błaszk. (Błaszkowski, 1989)

Esporas de color amarillo pálido (0-5-20-0) a naranja pálido (0-20-80-0), globosas, con un diámetro de 140-170 μm y con ornamentaciones en la superficie (Figura 9, a, b y c). Presenta tres paredes, la primera totalmente ornamentada en forma de depresiones, de un ancho de 6 μm , la segunda pared se desprende fácilmente de la primera y es laminar al igual que la tercera pared (Figura 9. c).

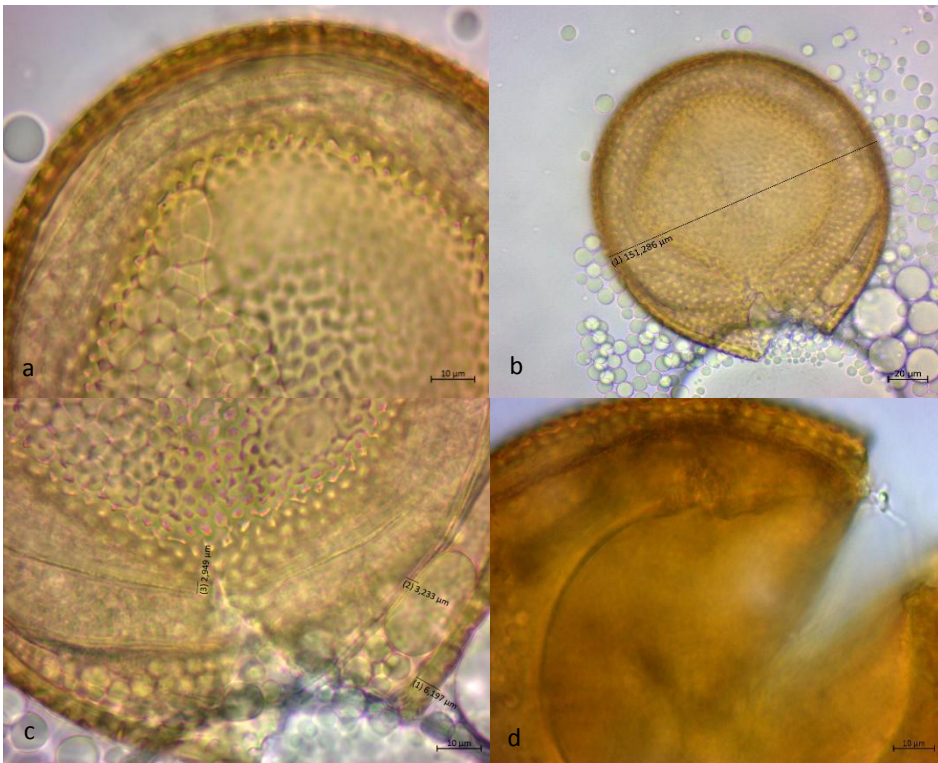


Figura 1. *Acaulospora cavernata* en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a) *Acaulospora cavernata* 100x, PVLG; b) *Acaulospora cavernata* 40x, pvlg 1) diámetro de la espora; c) paredes de *Acaulospora cavernata* 100x, PVLG 1) ancho de la pared externa 2) ancho de la segunda pared 3) ancho de la tercera pared

Anexo K. Descripción de *Archaeospora myriocarpa* (Spain, Sieverd. & N.C. Schenck) Oehl, G.A. Silva, B.T. Goto & Sieverd. (Oehl, Silva, Goto, & Sieverding, 2011)

Esporas globosas con un diámetro entre 72-78 μ m (Figura 10. b); color entre hialino (0-0-5-0) y amarillo pálido (0-5-20-0). Posee dos paredes que se diferencian fácilmente en el reactivo de melzer (Figura 10. c y d). En el reactivo de melzer, la pared interna tiñe de color amarillo, lo cual es determinante en esta especie (Figura 10. d).

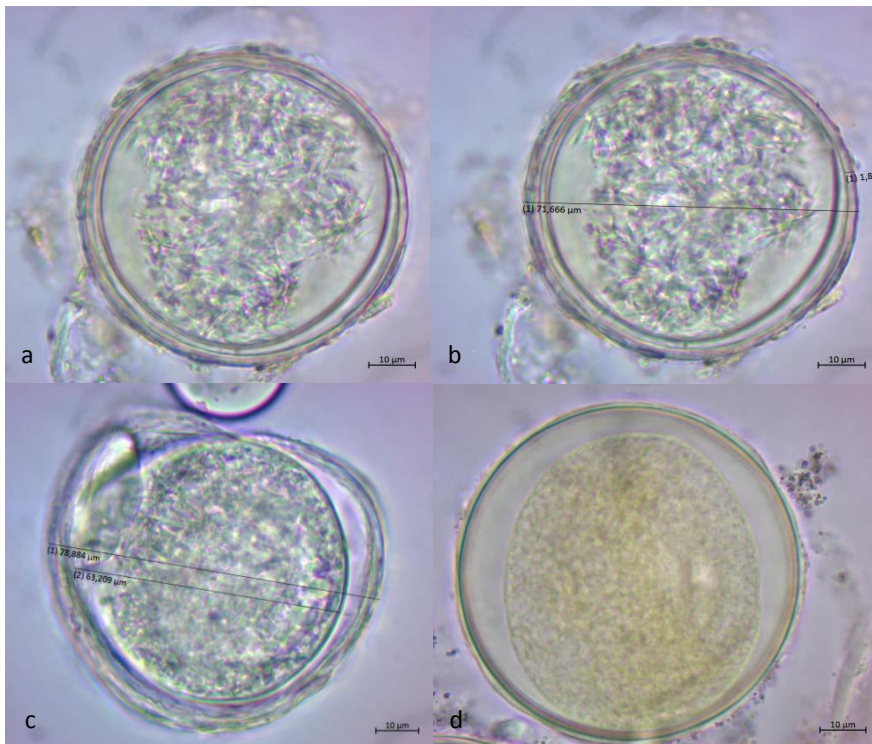


Figura 1. Esporas de *Archaeospora myriocarpa* en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a) *Archaeospora myriocarpa* 100x, PVLG b) *Archaeospora myriocarpa* 100x, pvlg 1) diámetro de la espora 2) ancho de la pared externa c) desprendimiento de la segunda pared de *Archaeospora myriocarpa* 100x, PVLG d) *Archaeospora myriocarpa* 100x, Melzer. Reacción de la segunda pared al Melzer

Anexo L. Descripción de *Diversispora eburnea* (L.J. Kenn., J.C. Stutz & J.B. Morton) C. Walker & A. Schüßler. (Schüßler & Walker, 2010).

Espora globosa o irregular, con un diámetro de 80 a 83 μm , su color es hialino (0-0-5-0) (Figura 11. a y c). Presenta dos paredes, L1 con ancho de 4,8 μm y con presencia de mucilago (Figura 11. a y d) y L2 de 4,6 μm ambas de color hialino en PVLG (Figura 11. a). No presenta reacción en Melzer.

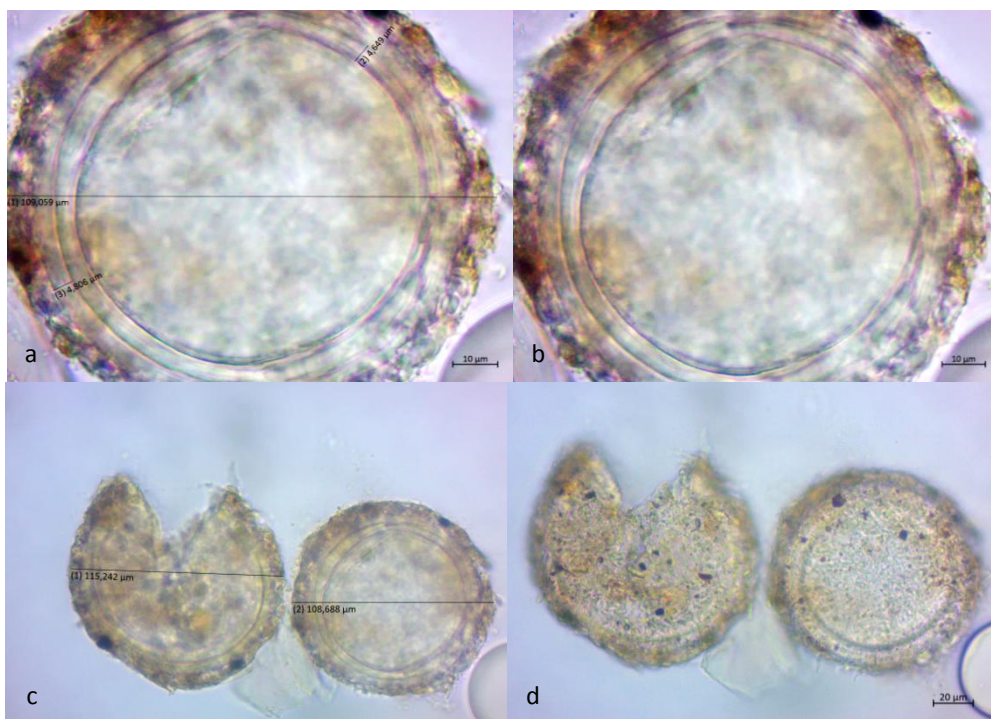


Figura 1. Esporas de *Diversispora eburnea* en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a) *Diversispora eburnea* 100x, PVLG: 1) diámetro de la espora, 2) tamaño de la primera pared (L1), 3) tamaño de la segunda pared (L2); b) *Diversispora eburnea* 100x, PVLG; c) *Diversispora eburnea* 40x, PVLG 1) diámetro espora 1, 2) diámetro espora 2; d) Mucilago de la L1 de *Diversispora eburnea* 40x, PVLG.

Anexo M. Descripción de *Diversispora spurca* (C.M. Pfeiff., C. Walker & Bloss) C. Walker & A. Schüssler. (Walker & Schüssler, 2004).

Esporas globosas entre 60-68 μ m de diámetro, color entre hialino (0-0-5-0) y amarillo pálido (0-5-20-0) (Figura 12. b). Presentan dos paredes de las cuales, la L2 se desprende fácilmente de la L1 cuando la espora se rompe (Figura 12. a y b). No presenta reacción en Melzer ninguna de las paredes (Figura 12. c y d).

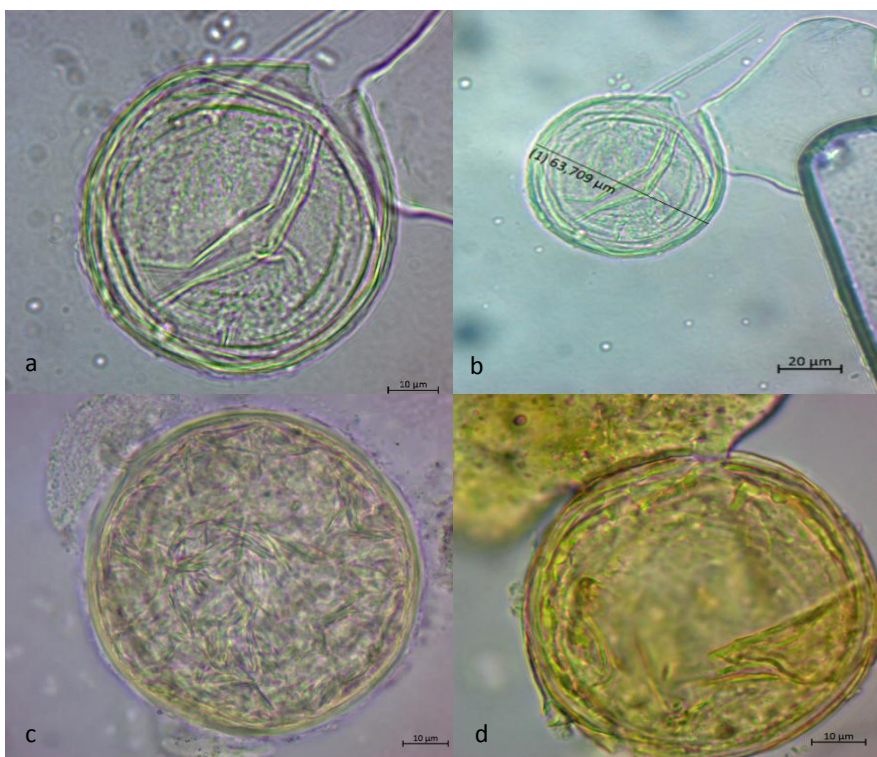


Figura 1. Esporas de *Diversispora ebúrnea* en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a) Espora de *D. ebúrnea*, 100x PVLG; b) diámetro de la espora de *D. ebúrnea*, 40x PVLG; c) conexión hifal de *D. ebúrnea*, 100x, PVLG + Melzer; d) espora abierta de *D. ebúrnea*, 100x, PVLG + Melzer.

Anexo N. Descripción de *Diversispora* sp. C. Walker & A. Schüßler. (Walker & Schüssler, 2004).

Esporas globosas, entre 95-100µm de diámetro, de color amarillo pálido (0-5-20-0) a amarillo marrón pálido (0-5-20-0) (Figura 13. b). Presenta dos paredes laminares, en donde la L2 se desprende de la L1 al romperse la espora (Figura 13. b y c). No presenta coloración o reacción en Melzer.

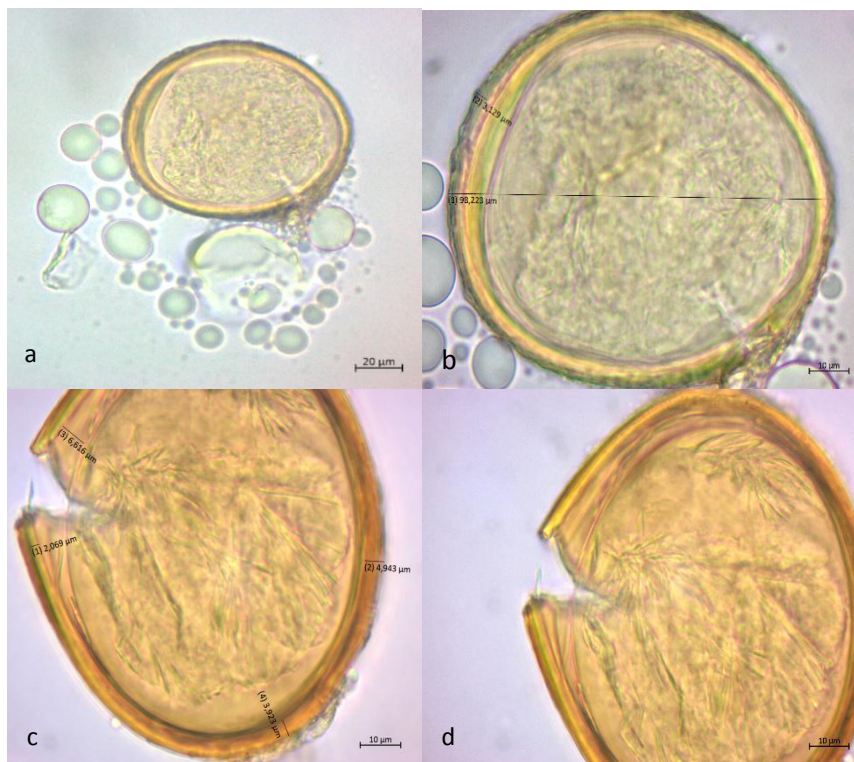


Figura 1. Esporas de *Diversispora* sp. en cultivos trampa de *Brachiaria decumbens*. a) Espora de *Diversispora* sp. 40x, PVLG; b) medición del diámetro de la espora y la primera pared de *Diversisporasp*, 100x, PVLG; c y d) espora abierta de *Diversispora* sp, en donde se pueden visualizar bien las paredes y su medición.

Anexo O. Protocolo de extracción de HFMA según Gerdemann & Nicols (1963)
Modificado.

Materiales.

- Frasco compotero; tubos falcon; gradilla de falcon; tamices (425 μ m, y 45 μ m); jeringa de 10ml; gramera y centrifuga

Reactivos

- Agua destilada y sacarosa 72%.

Procedimiento

Extracción de esporas de HFM

Tamizaje

- Pesar 10 gramos de la muestra y cubrirlos con agua en un frasco compotero.
- Agitación durante 10 minutos a 150 revoluciones por minutos (RPM).
- Transferir a los tamices de 425 μ m y 45 μ m, la muestra se recoge con ayuda de un embudo y agua destilada en un tubo falcón.

Centrifugación

- Antes de iniciar el proceso de centrifugación, se deben calibrar cada uno de los tubos falcón y deben ser aforados entre 35 y 40 ml.
- Centrifugar a 4000 RPM por 5 minutos. Al terminar se debe extraer el sobrenadante con mucho cuidado hasta dejar 20 ml.
- En los 20 ml que quedaron agregar 15 ml de Sacarosa al 72% + Tween al 80% (La solución es agregada mientras se agita la muestra con ayuda de la aguja). Finalmente se centrifuga a 3000 RPM por 10 minutos.

Lavado

- Realizar un lavado al último sobrenadante en el tamiz del poro más pequeño y con abundante agua.
- Guardar la muestra con agua destilada en un tubo falcón, para ser analizada posteriormente. Debe ser marcada con el nombre y la fecha de extracción.

Anexo P. Protocolo de cultivos trampa de HFMA Sieverding, (1983) con modificaciones.

Materiales

- Suelo estéril; arena estéril y macetas

Reactivos

- Solución de fertilizante con bajo contenido de fosforo

Procedimiento

- Esterilizar suelo y arena, tres veces por una hora
- Tomar 150 g de suelo de la muestra y homogenizar con 150g de la combinación 3:1 de suelo y arena estéril y depositar en macetas.
- Agregar 20 semillas de *Brachiaria decumbens*, después de un mes, solo se seleccionan 3 plantas por maceta.
- Regar a capacidad de campo cada dos días y fertilizar una vez por mes, con una solución de extractos húmicos con bajo contenido de fosforo.
- Al término de tres meses, las plantas se someten a estrés hídrico y corte de las hojas.
- A partir de los 15 días de estrés se colecta el suelo de los cultivos trampa, dando inicio a la extracción de esporas y su identificación taxonómica.

	SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 1 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 02

Los suscritos:

HERIK JOHAN GUZMAN LASSO	con C.C N°	1.094.928.688
YESSICA LORENA PERDOMO USECHE	con C.C N°	1.110.544.981
MARYEMY VARÓN LÓPEZ	con C.C N°	28.556.259
HILDA ROCIO OCAMPO MOSQUERA	con C.C N°	66.960.557
	con C.C N°	

Manifiesto (an) la voluntad de:

Autorizar

No Autorizar Motivo: _____

La consulta en físico y la virtualización de **mi OBRA**, con el fin de incluirlo en el repositorio institucional de la Universidad del Tolima. Esta autorización se hace sin ánimo de lucro, con fines académicos y no implica una cesión de derechos patrimoniales de autor.

Manifestamos que se trata de una OBRA original y como de la autoría de LA OBRA y en relación a la misma, declara que la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA, se encuentra, en todo caso, libre de todo tipo de responsabilidad, sea civil, administrativa o penal (incluido el reclamo por plagio).

Por su parte la UNIVERSIDAD DEL TOLIMA se compromete a imponer las medidas necesarias que garanticen la conservación y custodia de la obra tanto en espacios físico como virtual, ajustándose para dicho fin a las normas fijadas en el Reglamento de Propiedad Intelectual de la Universidad, en la Ley 23 de 1982 y demás normas concordantes.

La publicación de:

Trabajo de grado	<input checked="" type="checkbox"/>	Artículo	<input type="checkbox"/>	Proyecto de Investigación	<input type="checkbox"/>
Libro	<input type="checkbox"/>	Parte de libro	<input type="checkbox"/>	Documento de conferencia	<input type="checkbox"/>
Patente	<input type="checkbox"/>	Informe técnico	<input type="checkbox"/>		
Otro: (fotografía, mapa, radiografía, película, video, entre otros)					<input type="checkbox"/>

Fecha Versión 02: 04-11-2016

	SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 2 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 02

Producto de la actividad académica/científica/cultural en la Universidad del Tolima, para que con fines académicos e investigativos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad del Tolima. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento en el momento mismo que hago entrega del trabajo final a la Biblioteca Rafael Parga Cortes de la Universidad del Tolima.

De conformidad con lo establecido en la Ley 23 de 1982 en los artículos 30 “...**Derechos Morales. El autor tendrá sobre su obra un derecho perpetuo, inalienable e irrenunciable**” y 37 “...**Es lícita la reproducción por cualquier medio, de una obra literaria o científica, ordenada u obtenida por el interesado en un solo ejemplar para su uso privado y sin fines de lucro**”. El artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “**los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores**” y en su artículo 61 de la Constitución Política de Colombia.

- Identificación del documento:

ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES (HFMA) ASOCIADAS A LA VEGETACIÓN CIRCUNDANTE EN UN ÁREA DE MINERÍA DEL MUNICIPIO DE SANTA-ISABEL, TOLIMA

Título completo: Trabajo de grado presentado para optar al título de:

BIOLOGO

- Proyecto de Investigación correspondiente al Programa (No diligenciar si es opción de grado “Trabajo de Grado”):

- Informe Técnico correspondiente al Programa (No diligenciar si es opción de grado “Trabajo de Grado”):

- Artículo publicado en revista:

- Capítulo publicado en libro:

- Conferencia a la que se presentó:

Fecha Versión 02: 04-11-2016


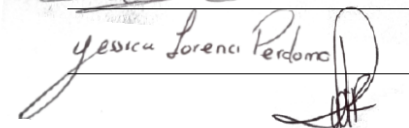
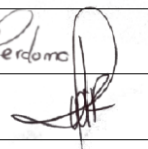
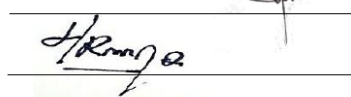
	SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	Página 3 de 3
		Código: GB-P04-F03
		Versión: 02

Quienes a continuación autentican con su firma la autorización para la digitalización e inclusión en el repositorio digital de la Universidad del Tolima, el:

Día: 21 Mes: JULIO Año: 2017

Autores:

Firma

Nombre:	<u>Herik Johan Guzmán Lasso</u>		C.C.	<u>1.094.928.688</u>
Nombre:	<u>Yessica Lorena Perdomo Useche</u>		C.C.	<u>1.110.544.981</u>
Nombre:	<u>Maryeimy Varón López</u>		C.C.	<u>28.556.259</u>
Nombre:	<u>Hilda Rocío Mosquera Mosquera</u>		C.C.	<u>66.960.557</u>

El autor y/o autores certifican que conocen las derivadas jurídicas que se generan en aplicación de los principios del derecho de autor.

