



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

Proyecto de investigación
previo a a obtención del título de
Ingeniera Forestal

Tema:

MICORRÍZAS ARBUSCULARES Y SU RELACIÓN CON FACTORES FÍSICO-
QUÍMICOS DEL SUELO, PRESENTES EN EL BOSQUE SECUNDARIO “NOÉ
MORÁN” DEL HUMEDAL ABRAS DE MANTEQUILLA

Autora:

Dafne Nicole Mendoza Delgado

Director de Proyecto de Investigación:

Dr. Oscar Oswaldo Prieto Benavides

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Dafne Nicole Mendoza Delgado**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

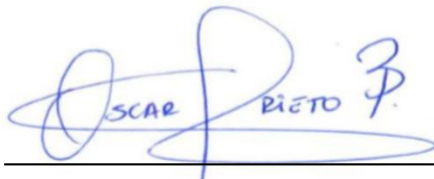
La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Dafne Nicole Mendoza Delgado

C.C. # 1250348040

CERTIFICACIÓN DE LA CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Dr. Oscar Oswaldo Prieto Benavides**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **Dafne Nicole Mendoza Delgado**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado "**Micorrizas arbusculares y su relación con factores físico-químicos del suelo, presentes en el bosque secundario "Noé Morán" del humedal Abras de Mantequilla**", previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias para el efecto.



Dr. Oscar Oswaldo Prieto Benavides

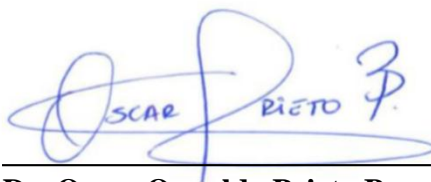
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICACIÓN DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

URKUND

Document Information

Analyzed document Tesis Dafne Mendoza.docx (D97748783)
Submitted 3/9/2021 4:25:00 PM
Submitted by
Submitter email oprieto@uteq.edu.ec
Similarity 9%
Analysis address oprieto.uteq@analysis.arkund.com



Dr. Oscar Oswaldo Prieto Benavides

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Micorrizas arbusculares y su relación con factores físico-químicos del suelo, presentes en el bosque secundario "Noé Morán" del humedal Abras de Mantequilla ”

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal.

Aprobado por:

Dr. Carlos Belezaca Pinargote
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Jaime Morante Carriel
INTEGRANTE DEL TRIBUNAL

Dr. Nicolás Cruz Rosero
INTEGRANTE DEL TRIBUNAL

QUEVEDO - LOS RÍOS – ECUADOR

2021

AGRADECIMIENTO

A Dios, por siempre escuchar mis oraciones y darme las fuerzas necesarias para conseguir con mucho esfuerzo lo que me he propuesto en la vida, por no dejarme desmayar en momentos difíciles y ayudarme a lograr este valioso objetivo tan anhelado para mí y todos mis seres amados.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por haberme permitido estudiar esta carrera y formar parte de su respetable institución y a los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por compartirme sus conocimientos tan valiosos, los cuales fueron parte fundamental en mi formación profesional.

A mi director de proyecto de investigación, Ing. Oscar Prieto Benavides, por brindarme su dedicación, paciencia, conocimientos y apoyo incondicional desde el inicio de este trabajo, factores que fueron fundamentales para culminar mi carrera con éxito.

A mi gran amigo, Ing. Erick García, quién sin importar cualquier circunstancia, no dudó en ayudarme en todo lo necesario, dándome acceso también al laboratorio de Química y Bioquímica de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, para facilitar mi estudio del presente proyecto de investigación.

A mis amigos y compañeros de carrera, Ariana, Joao, Jaritza, Marjorie y Jocselyn que hicieron que todos estos años de estudios sean especiales, compartí con ustedes momentos maravillosos que nunca olvidaré, los llevo en mi alma y saben que siempre podrán contar conmigo, mis hermanos de aula.

A mis compañeras de tesis, Ariana y Roselia, por su comprensión y apoyo desde el primer día que empezamos a trabajar juntas, formamos el mejor equipo de trabajo, las quiero mucho.

DEDICATORIA

A mi madre, Yadira Delgado, mi vida, mi razón de ser...que se merece todo lo mejor de mí, por su amor desmedido, confianza, apoyo, esfuerzo y dedicación, por haberme inculcado siempre los valores y principios que todo buen ser humano debe tener, por guiarme por el camino del bien, orando siempre a Dios con el alma para que cuide cada paso que dé en mi vida.

A mis abuelitos, Angela Mendoza y Dionisio Mendoza, por amarme tanto, por darme los mejores consejos y enseñarme que el respeto siempre será la base de todo, son mi vida y cada logro o meta que cumpla, será en nombre de ustedes.

A mis hermanos, Emilia y Darwin, quienes me dan ánimos siempre para conseguir grandes cosas en mi vida y a no rendirme nunca, por el amor y cuidado que me dan día a día. A mi sobrinita hermosa Isabella y a mi primo Jaredcito, por haber llegado a nuestras vidas a llenarnos de alegrías con cada ocurrencia, que con todo el cariño que me dan, logran motivarme a ser un ejemplo de vida para ellos.

A mis tíos (as), Jazmany, Paul, Jhonny, Agustín, Lorena y Mercedes, quienes han sido como unos padres para mí, por no abandonarme nunca en cada momento de mi vida y en especial en todo mi proceso de formación profesional, por el esfuerzo que hacen siempre por mi y amor infinito que me brindan.

A Ives Sellán, a quien admiro y quiero muchísimo, por su amor y apoyo incondicional, por enseñarme a valorar todo en la vida e inculcar en mí, el esforzarse y darlo todo cada día, para conseguir lo que me proponga y lograrlo con éxito.

Dafne Nicole Mendoza Delgado

RESUMEN

La presencia de microorganismos en ambientes poco perturbados, es de gran importancia, tomando en cuenta los beneficios que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) proveen a las plantas con las que establecen simbiosis. La investigación se realizó con el fin de identificar los diferentes tipos de HMA presentes en el bosque secundario “Noé Morán” del humedal Abras de Mantequilla. Se recolectaron al azar, 3 sub muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm, de cuatro especies forestales, *Guazuma ulmifolia* (Guasmo), *Albizia guachapele* (Guachapelí), *Eugenia pustulescens* (Guayabo de monte) y *Cecropia peltata* (Guarumo), se aislaron las esporas de HMA mediante un proceso de tamizado, realizando un conteo de las mismas para luego evaluar la densidad por cada 100 gramos de suelo, adicional a esto se realizó un análisis físico-químico de las respectivas muestras de suelo recolectadas. La diferencia entre medias se comprobó mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$). Los resultados de los análisis, mostraron que el número de esporas cuantificadas por cada 100 gramos de suelo fueron, 174 esporas para *Guazuma ulmifolia*, 162 para *Eugenia pustulescens*, 151 para *Albizia guachapele* y con menor cantidad 133 para *Cecropia peltata*. En cuanto a la identificación, se registraron cinco familias con veintidós especies de HMA, las familias Acaulosporaceae y Gigasporaceae se presentaron en mayor abundancia en la especie *Guazuma ulmifolia*, la Claroideoglomeraceae y Glomeraceae en la especie *Albizia guachapele* y en menor proporción la Paraglomeraceae en la especie *Eugenia pustulescens*. En los análisis de los atributos físicos y químicos del suelo, se pudo comprobar que respecto a la abundancia de HMA, la especie *Guazuma ulmifolia*, presentaron las mayores correlaciones con K, Ca, Mg, y Al. Respecto a la riqueza de especies, correlaciones mayores se obtuvieron con K, Ca, Mg, Al y S. En la especie *Albizia guachapele* tanto en la abundancia como en la riqueza, las mayores correlaciones se tuvieron con los elementos MO, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe y B. La especie *Eugenia pustulescens* presentó en la abundancia como en la riqueza de especie, correlaciones altas en los mismos elementos químicos pH, MO, P, Ca, Mg, Al, S, Cu, y Mn. A diferencia de la especie *Cecropia peltata* que tuvo mayor correlación con los elementos MO, P, Ca, Mg y Al. Dadas las condiciones presentadas en el humedal y laboratorio se logró hacer la correcta identificación de diferentes tipos de HMA presentes, deonde la mayoría de especies se encontraron en las familias: Acaulosporaceae y Glomeraceae.

Palabras claves: HMA, densidad, riqueza, simbiosis, correlación.

ABSTRACT

The presence of microorganisms in undisturbed environments is of great importance, taking into account the benefits that arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) provide to the plants with which they establish symbiosis. The research was carried out to identify the different types of AMF present in the secondary forest "Noé Morán" of the Abras de Mantequilla wetland. Three soil subsamples were randomly collected at a depth of 0-20 cm from four forest species, *Guazuma ulmifolia* (Guasmo), *Albizia guachapele* (Guachapelí), *Eugenia pustulescens* (Guayabo de monte) and *Cecropia peltata* (Guarumo), AMF spores were isolated through a sieving process, counting them and then evaluating the density per 100 grams of soil, in addition to this, a physical-chemical analysis of the respective soil samples collected was performed. The difference between means was tested using Tukey's test ($P < 0.05$). The results of the analysis showed that the number of spores quantified per 100 grams of soil were 174 spores for *Guazuma ulmifolia*, 162 for *Eugenia pustulescens*, 151 for *Albizia guachapele* and 133 for *Cecropia peltata*. In terms of identification, five families with twenty-two species of AMF were recorded, the families Acaulosporaceae and Gigasporaceae occurred in greater abundance in the species *Guazuma ulmifolia*, the Claroideoglomeraceae and Glomeraceae in the species *Albizia guachapele* and in lesser proportion the Paraglomeraceae in the species *Eugenia pustulescens*. In the analysis of the physical and chemical attributes of the soil, it was found that with respect to the abundance of AMF, the species *Guazuma ulmifolia*, presented the highest correlations with K, Ca, Mg, and Al. Regarding species richness, the highest correlations were obtained with K, Ca, Mg, Al and S. In the species *Albizia guachapele*, both in abundance and richness, the highest correlations were obtained with the elements MO, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe and B. The species *Eugenia pustulescens* presented high correlations in abundance and species richness in the same chemical elements pH, MO, P, Ca, Mg, Al, S, Cu, and Mn. In contrast, the species *Cecropia peltata* had a higher correlation with the elements MO, P, Ca, Mg and Al. Given the conditions presented in the wetland and laboratory, it was possible to correctly identify the different types of AMF present, where the majority of species were found in the families: Acaulosporaceae and Glomeraceae.

Keywords: HMA, density, richness, symbiosis, correlation.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE LA CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	iv
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN	viii
TABLA DE CONTENIDO	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
CÓDIGO DUBLIN.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	1
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Problematización de la investigación	4
1.1.1. Diagnóstico.....	4
1.1.2. Pronóstico.....	4
1.1.3. Formulación del problema.....	4
1.1.4. Sistematización.....	5
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
1.3. Hipótesis.....	6
1.4. Justificación.....	6
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7

2.1.	Marco conceptual.....	8
2.1.1.	Micorrizas.....	8
2.1.4.	Hongos micorrízicos arbusculares.....	10
2.1.5.	Colonización micorrízica.....	10
2.1.6.	Ciclo de vida de los HMA.....	11
2.2.	Marco referencial.....	12
2.2.1.	Factores que afectan el crecimiento de HMA.....	12
2.2.2.	Diversidad morfológica de HMA.....	12
2.2.3.	HMA presentes en los trópicos húmedos ecuatorianos.....	14
2.2.4.	Beneficios que proveen los HMA a las plantas.....	14
2.2.5.	Interacción de HMA con especies forestales.....	15
2.2.6.	<i>Guazuma ulmifolia</i> (Guasmo).....	16
2.2.7.	<i>Albizia Guachapele</i> (Guachapelí).....	16
2.2.8.	<i>Eugenia pustulescens</i> (Guayabo de monte).....	16
2.2.9.	<i>Cecropia peltata</i> (Guarumo).....	17
2.2.10.	Reducción de pérdidas de nutrientes del suelo.....	17
CAPÍTULO III		18
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		18
3.1.	Localización del área de estudio.....	19
3.2.	Características edafoclimáticas del sitio de estudio.....	20
3.3.	Materiales.....	20
3.3.1.	Materiales de campo.....	20
3.3.2.	Materiales de laboratorio.....	21
3.3.3.	Reactivos.....	21
3.3.4.	Equipos.....	21
3.4.	Metodología.....	22
3.4.1.	Tipo de investigación.....	22
3.4.2.	Método de investigación.....	22
3.4.3.	Campo.....	22
3.4.4.	Laboratorio.....	23
3.4.5.	Análisis estadístico.....	26
CAPITULO IV		27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		27

4.1. Resultados.....	28
4.1.1. Especies de HMA identificadas por muestra de suelo.	28
4.1.2. Densidad de especies de HMA por cada 100 g de suelo (vivas/muertas).....	31
4.1.3. Densidad de especies de HMA identificadas por cada 100 g de suelo.	31
4.1.4. Riqueza media de especies (S) por muestra, índice de Shannon (H) e índice de equitabilidad de Pielou (J).	32
4.1.5. Análisis de pH del suelo en el bosque secundario “Noé Morán”.....	33
4.1.6. Análisis químico de las muestras de suelo correspondientes a las diferentes especies forestales del bosque secundario “Noé Morán”.....	34
4.1.7. Análisis físico de las muestras de suelo correspondientes a las diferentes especies forestales del bosque secundario “Noé Morán”.	36
4.1.8. Análisis de correlación entre los factores químicos del suelo, la abundancia y riqueza de esporas de HMA.	37
4.1.9. Análisis de correlación entre los factores físicos del suelo, la densidad y riqueza de esporas de HMA.	39
4.1.10. Análisis de redundancia.....	40
4.2. Discusión.	42
CAPÍTULO V.....	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. Conclusiones.	47
5.2. Recomendaciones.	48
CAPÍTULO VI.....	49
BIBLIOGRAFÍA	49
CAPÍTULO VII.....	56
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los hongos Glomeromycetes.....	13
Tabla 2. Promedio anual de las características edafoclimáticas del bosque secundario “Noé Morán”, ubicado en el Humedal Abras de Mantequilla, Cantón Vinces, Provincia de Los Ríos.	20
Tabla 3. Datos del conteo de HMA por número de muestra por cada 100 g de suelo aisladas de las especies forestales <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Albizia guachapele</i> , <i>Eugenia pustulescens</i> y <i>Cecropia peltata</i> en el bosque secundario “Noé Morán”.....	31
Tabla 4. Datos de los HMA identificados por cada 100 g de suelo, en cuatro diferentes especies forestales: <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Albizia guachapele</i> , <i>Eugenia pustulescens</i> y <i>Cecropia peltata</i> en el bosque secundario “Noé Morán”.....	32
Tabla 5. Especies forestales y pH del suelo obtenido en solución de Agua (H ₂ O), en el bosque secundario “Noé Morán”.....	33
Tabla 6. Factores químicos de las muestras de suelo recogidas en la época lluviosa de las especies forestales: <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Albizia guachapele</i> , <i>Eugenia pustulescens</i> y <i>Cecropia peltata</i> en el bosque secundario “Noé Morán”.....	35
Tabla 7. Factores físicos de las muestras de suelo recogidas en la época lluviosa de las especies forestales: <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Albizia guachapele</i> , <i>Eugenia pustulescens</i> y <i>Cecropia peltata</i> en el bosque secundario “Noé Morán”.....	36
Tabla 8. Riqueza media de especies (S) por muestra, índice de Shannon (H) e índice de equitabilidad de Pielou (J) en la época lluviosa en las especies forestales: <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Albizia guachapele</i> , <i>Eugenia pustulescens</i> y <i>Cecropia peltata</i> , en el bosque secundario “Noé Morán”.....	33
Tabla 9. Factores químicos en correlación con la riqueza de especies y abundancia de esporas de HMA en la época lluviosa del bosque secundario “Noé Morán”.....	38
Tabla 10. Factores físicos en correlación con la riqueza de especies y abundancia de esporas de HMA en la época lluviosa del bosque secundario “Noé Morán”.....	39

Tabla 11. Especies de HMA con sus respectivas familias y número de esporas identificadas en la época lluviosa de las especies forestales: Guazuma ulmifolia, Albizia guachapele, Eugenia pustulescens y Cecropia peltata en el bosque secundario “Noé Morán”	29
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación representativa de los puntos establecidos para la recolección de muestras de suelo en el bosque secundario “Noé Morán”, ubicado en el humedal Abras de Mantequilla, Cantón Vinces, Provincia de Los Ríos.	19
Figura 2. Distribución de los factores químicos del suelo en las comunidades HMA en el bosque secundario “Noé Morán”	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Recolección de muestras de suelo, para el aislamiento, conteo e identificación de HMA y medición de pH en <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Albizia guachapele</i> , <i>Eugenia pustulescens</i> y <i>Cecropia peltata</i> , en el bosque secundario “Noé Morán” ubicado en el Humedal Abras de Mantequilla, Cantón Vinces, Provincia de Los Ríos.	57
Anexo 2. Valores obtenidos de HMA en la identificación de cada muestra de suelo en <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Albizia guachapele</i> , <i>Eugenia pustulescens</i> y <i>Cecropia peltata</i> en el bosque secundario “Noé Morán”	61
Anexo 3. Valores obtenidos de los parámetros físicos y químicos por cada muestra de suelo en <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Albizia guachapele</i> , <i>Eugenia pustulescens</i> y <i>Cecropia peltata</i> en el bosque secundario “Noé Morán”.	63
Anexo 4. Conteo de HMA vivas/muertas en las muestras de suelo en <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Albizia guachapele</i> , <i>Eugenia pustulescens</i> y <i>Cecropia peltata</i> en el bosque secundario “Noé Morán”.	64
Anexo 5. Abreviaturas utilizadas en el proceso de laboratorio para las especies de HMA con su respectivo significado.	65

CÓDIGO DUBLIN

Título:	“Micorrizas arbusculares y su relación con factores físico-químicos del suelo, presentes en el bosque secundario "Noé Morán" del humedal Abras de Mantequilla "				
Autora:	Mendoza Delgado Dafne Nicole				
Palabras claves:	HMA	Densidad	Riqueza	Simbiosis	Correlación
Fecha de publicación:					
Editorial:	FCA; Carrera de Ingeniería Forestal; Mendoza, D.				
Resumen: (hasta 400 palabras)	<p>La presencia de microorganismos en ambientes poco perturbados, es de gran importancia, tomando en cuenta los beneficios que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) proveen a las plantas con las que establecen simbiosis. La investigación se realizó con el fin de identificar los diferentes tipos de HMA presentes en el bosque secundario “Noé Morán” del humedal Abras de Mantequilla. Se recolectaron al azar, 3 sub muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm, de cuatro especies forestales, <i>Guazuma ulmifolia</i> (Guasmo), <i>Albizia guachapele</i> (Guachapelí), <i>Eugenia pustulescens</i> (Guayabo de monte) y <i>Cecropia peltata</i> (Guarumo), se aislaron las esporas de HMA mediante un proceso de tamizado, realizando un conteo de las mismas para luego evaluar la densidad por cada 100 gramos de suelo, adicional a esto se realizó un análisis físico-químico de las respectivas muestras de suelo recolectadas. La diferencia entre medias se comprobó mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$). Los resultados de los análisis, mostraron que el número de esporas cuantificadas por cada 100 gramos de suelo fueron, 174 esporas para <i>Guazuma ulmifolia</i>, 162 para <i>Eugenia pustulescens</i>, 151 para <i>Albizia guachapele</i> y con menor cantidad 133 para <i>Cecropia peltata</i>. En cuanto a la identificación, se registraron cinco familias con veintidós especies de HMA, las familias Acaulosporaceae y Gigasporaceae se presentaron en mayor abundancia en la especie <i>Guazuma ulmifolia</i>, la Claroideoglomeraceae y Glomeraceae en la especie <i>Albizia guachapele</i> y en menor proporción la Paraglomeraceae en la especie <i>Eugenia pustulescens</i>. En los análisis de los atributos físicos y químicos del suelo, se pudo comprobar que respecto a la abundancia de HMA, la especie <i>Guazuma ulmifolia</i>, presentaron las mayores correlaciones con K, Ca, Mg, y Al. Respecto a la riqueza de especies, correlaciones mayores se obtuvieron con K, Ca, Mg, Al y S. En la especie <i>Albizia guachapele</i> tanto en la abundancia como en la riqueza, las mayores correlaciones se tuvieron con los elementos MO, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe y B. La especie <i>Eugenia pustulescens</i> presentó en la abundancia como en la riqueza de especie, correlaciones altas en los mismos elementos químicos pH, MO, P, Ca, Mg, Al, S, Cu, y Mn. A diferencia de la especie <i>Cecropia peltata</i> que tuvo mayor correlación con los elementos MO, P, Ca, Mg y Al. Dadas las</p>				

	condiciones presentadas en el humedal y laboratorio se logró hacer la correcta identificación de diferentes tipos de HMA presentes, deonde la mayoría de especies se encontraron en las familias: Acaulosporaceae y Glomeraceae.
Descirpción:	Hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM
URL:	

INTRODUCCIÓN

El proceso de adaptación de las plantas se ha desarrollado debido a las alteraciones físico-químicas del suelo, a causa del cambio climático y sus efectos negativos tales como (erosión, posterior lixiviación de elementos y excedentes de monocultivos), el cual aumenta los agentes contaminantes que afectan el adecuado desarrollo de los humedales. La importancia de este proceso es la capacidad de activar el sistema radicular para que pueda establecer relaciones simbióticas mutualistas, benéficas con los microorganismos, entre las cuales se destaca la simbiosis con hongos micorrízicos arbusculares (HMA).

El establecimiento simbiótico Hongo/Planta conlleva una secuencia de etapas de reconocimiento causando cambios morfológicos y fisiológicos entre los dos organismos que interactúan. El estudio de estos microorganismos en ambientes poco perturbados como es el caso del bosque secundario “Noé Morán”, es de gran importancia, tomando en cuenta los beneficios que los HMA proveen a las plantas con las que establecen simbiosis, entre las cuales se destacan las siguientes: Mejora de la absorción de algunos nutrientes, elementos químicos como el fósforo, nitrógeno, potasio, y calcio son absorbidos a través de las redes de hifas externas por transportadores como H⁺-ATPasa (Guzmán y Farías, 2005), aumenta la resistencia contra los agentes patógenos, esto debido a que las micorrizas inhiben el crecimiento de otros microorganismos, mismos que causan efectos negativos o de retardo en las plantas, estas actividades se presentan por el estado de competencia que las caracteriza (Barto *et al.*, 2011).

En la actualidad el manejo inadecuado de los bosques y la pérdida excesiva de la vegetación ha generado resultados negativos en aumento de la degradación de suelos, alteración de la microflora benéfica y de la fauna en la agricultura convencional. Dadas estas situaciones hay que tomar medidas de control que pueden ser; nutrición orgánica o ecológica, con el fin de implementar un sistema autosostenible por consecuencia de sus respuestas naturales, por decir el uso de abonos verdes, humus, compost o microorganismos benéficos. Los HMA, son utilizados para movilizar y reciclar nutrientes para aprovechar la fertilidad del suelo, así como es importante y de gran interés la

alternativa ecológica la cual va a generar mejores resultados que los históricos por el uso de fertilizantes convencionales.

El objetivo de esta investigación fue, por lo tanto, identificar qué tipos de especies de HMA están estableciendo simbiosis benéfica con las especies forestales *Guazuma ulmifolia* (Guasmo), *Albizia guachapele* (Guachapelí), *Eugenia pustulescens* (Guayabo de monte) y *Cecropia peltata* (Guarumo), en el bosque secundario “Noé Morán” ubicado en el humedal Abras de Mantequilla para comprender la relación suelo-planta-microorganismo existentes en este lugar.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problematización de la investigación

1.1.1. Diagnóstico.

El bosque secundario “Noé Morán” ubicado en el humedal Abras de Mantequilla, Cantón Vinces, Provincia de Los Ríos, por sus condiciones naturales, generan que la masa vegetativa sea abundante y más en temporada de precipitaciones altas, aumentando el porcentaje de materia orgánica en el suelo, contando con una humedad relativa promedio de 82% y temperatura media de 25.5 °C, esto proporciona el ambiente adecuado para desarrollar especies de hongos benéficos, sin embargo, en el medio se desconoce los resultados con este tipo de organismos, influyendo en la explotación comercial que provoquen impactos positivos tanto en el ecosistema como en el factor socio-económico que son el punto de enfoque en las entidades que controlan el impacto ambiental.

1.1.2. Pronóstico.

Debido a las condiciones del sitio al momento del muestreo y la poca actividad simbiótica, los resultados obtenidos pueden ser limitados, la correcta identificación de las especies de HMA se hará con base a conocimientos técnicos.

1.1.3. Formulación del problema.

¿Cuáles son las especies de HMA que se encuentran estableciendo actividad simbiótica benéfica en el bosque secundario “Noé Morán” del humedal Abras de Mantequilla?

1.1.4. Sistematización.

¿Qué especies de HMA habitan el suelo del bosque secundario “Noé Morán”?

¿Cuáles especies de HMA mostrarán mayor riqueza y abundancia de esporas?

¿Qué tipo de relación físico-química del suelo se encuentra en el bosque secundario “Noé Morán”?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Analizar los diferentes tipos de HMA presentes en el bosque secundario “Noé Morán” del humedal Abras de Mantequilla y la relación simbiótica que existe con los factores físico-químicos del suelo.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Identificar morfológicamente las especies de HMA presentes en el bosque secundario “Noé Morán” del humedal Abras de Mantequilla.
- Determinar la abundancia y riqueza de esporas de HMA.
- Realizar un análisis físico-químico del suelo.

1.3. Hipótesis.

H₀: La presencia de micelios de los hongos (micorrizas), no presentaron actividad simbiótica con la planta y no formaron micorrizósferas.

H₁: La presencia de micelios de los hongos (micorrizas), si presentaron actividad simbiótica con la planta y se formaron micorrizósferas.

1.4. Justificación.

Durante décadas los productores de diferentes cultivos maderables se han enfrentado al sistema monopolizado de fertilizantes que han provocado reducir los rendimientos en las producciones debido a la alta aplicación de sales que degeneran el suelo, haciendo referencia a sus propiedades químicas y directamente al pH, siendo afectada principalmente las raíces, mismas que se encargan de la absorción de nutrientes, teniendo una baja masa radicular lo más probable es que no haya cultivo rentable. La opción más viable después de conocer dichos problemas es cambiar los sistemas de nutrición y la aplicación de biofertilizantes tales como las micorrizas, mismas que serán proporcional a tener una relación suelo-planta más saludable y esto se debe a que la presencia de los micelios de estos hongos hacen que empiece una reacción simbiótica, en el momento que empiezan a sentir la proximidad de una raíz, emiten una hebra conocida como hifa colonizadora de manera que ya no tenemos una rizósfera, sino una micorrizósfera mejorando la absorción del agua y todos los nutrientes que estaban inmóviles tales como el nitrógeno (N) y fósforo (P), principalmente.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. Micorrizas.

En 1985 el Alemán Frank, emplea el término “micorriza” para definir las relaciones simbióticas que se establecen entre diferentes hongos presentes en el suelo y las raíces de las plantas. Las micorrizas son las responsables en gran parte de la estabilidad y el buen funcionamiento tanto de los cultivos, como de los ecosistemas, incrementando así la productividad de los mismos (Barea y Honrubia, 2004).

Existen varios tipos de micorrizas, en las que intervienen distintos taxones de plantas y hongos, pero las micorrizas arbusculares son la asociación entre hongos en el género *Glomeromycota* y alrededor de dos tercios de las especies de plantas, es la más antigua y extendida. Las únicas especies de plantas conocidas por ser incapaz de crecer en absoluto en ausencia de micorrizas son las orquídeas, por otro lado, especies *Achlorophyllous* forman micorrizas arbusculares porque realizan su actividad simbiótica en las plantas a través de las mismas (Helgason y Fitter, 2009).

2.1.2 Asociación simbiótica.

Los HMA son un grupo heterogéneo de taxones que establecen simbiosis con más del 90% de todas las especies de plantas (Du Jardin, 2015).

Entre las asociaciones simbióticas más relevantes que existen en la naturaleza, luego de las mitocondrias y los plástidos, se hallan también las plantas y los hongos filamentosos que habitan en el suelo. Estas asociaciones se las denomina “micorrizas” o también llamadas (raíces de hongos) en plantas vasculares, por otro lado, se denominan “micorrizadas” en plantas no vasculares sin raíces que contienen estructuras fúngicas intracelulares, como en el caso de las espirales y/o arbusculares (Hoysted *et al.*, 2018).

La simbiosis toma su nombre cuando el hongo adquiere carbono de la planta, a través del micelio intraradical, y como resultado hay una variedad de efectos en la planta. El más destacado de los efectos que surgen de la planta es la absorción de fosfato, por medio de una raíz micorrízica, las hifas fúngicas adquieren este fosfato del suelo y luego se transporta de regreso a la raíz en el micelio y se transfiere a la planta (Helgason y Fitter, 2009).

La asociación de micorrizas arbusculares se forma entre la mayoría de especies de plantas terrestres y hongos presentes en el suelo. Se da cuando el hongo recibe carbono (C) fotosintéticamente, y a su vez, a cambio emite una gran variedad de beneficios a la planta asociada, enriqueciéndola así de fósforo (P) y nitrógeno (N) (Berruti *et al.*, 2016).

En la simbiosis micorrízica arbuscular, se realizan varias interacciones en las que participan las plantas debido a su localización, ya sea geográfica o evolutiva. Powell y Rillig (2018), mencionan que es fundamental una simbiosis nutricional, en la que nutrientes tales como fósforo y otros, se adhieran a hospedantes vegetales ya sea por azúcares y lípidos.

2.1.3. Tipos de hongos micorrízicos.

Se estima que el 99% de las plantas con flores son micorrizas y las mismas están agrupadas tradicionalmente dependiendo de las raíces que colonizan, es por esto que (Brundrett, 2009) menciona los siguientes tipos de micorrizas:

Ectomicorrizas: Este tipo de micorrizas penetran intercelularmente el micelio fúngico a la corteza radicular, generando el crecimiento ramificado, en el caso de la penetración intracelular generada por la acción de las mismas ectomicorrizas, obtiene el nombre de ectendomicorrizas una vez establecida su función completa.

Endomicorrizas: Estas micorrizas se basan en la penetración inter e intracelular, sin afectar morfológicamente a las raíces. Condiciones que también las cumplen las micorrizas arbusculares, las cuales tienen la más amplia distribución de todos los microorganismos fertilizadores, ya sea florística o geográficamente.

2.1.4. Hongos micorrízicos arbusculares.

Debido a las varias interacciones físicas y taxones involucrados, los HMA son un tipo de endomicorriza que se asocia con las plantas, ya sea de cultivo o de hortalizas, aquí las hifas fúngicas de las especies de Glomeromycota penetran las células corticales de la raíz, formando así estructuras ramificadas llamadas arbusculares (Du Jardin, 2015).

Los HMA cumplen varias funciones importantes en los ecosistemas, entre éstas se destaca la absorción y transferencia de nutrientes, las variaciones del entorno físico del suelo y la modificación de las interacciones entre las plantas y otro ser vivo (Powell y Rillig, 2018).

Según Helgason y Fitter (2009), los HMA, al igual que otros hongos, son organismos distribuidos con redes miceliales aparentemente extendidas, pero no se ha identificado ninguna etapa sexual en ninguna especie, estos hongos no pueden observarse fácilmente o ubicarse *in situ* ya que no tienen un cuerpo fructífero visible sobre el suelo. Se fijan directamente a las raíces de las plantas, ya que estas son su única fuente de compuestos de carbono fijos.

2.1.5. Colonización micorrízica.

Según estudios (Zangaro *et al.*, 2013), indican que la colonización de raíces de HMA y la densidad de esporas, son más altas durante la temporada de crecimiento de plantas favorables, es decir primavera y verano, en cambio, durante la temporada de otoño e invierno, la densidad y colonización de hongos es muy baja.

La colonización de la raíz se acompaña del desarrollo de un micelio extraradical que incluye estructuras ramificadas, las cuales están involucradas con la absorción de nutrientes minerales. Las esporas externas se desarrollan en algunas de las fases de reproducción, completando el ciclo de vida fúngico, así durante la fase de esporulación fúngica micorrízica arbuscular, se forman grandes cantidades de estos propágulos; se han estimado entre 14,000 y 38,000 por raíz en cultivos monoxénicos (Bago, Pfeffer y Shachar-Hill, 2000).

Los árboles tropicales que pertenecen a etapas tempranas o también llamadas (especies de crecimiento rápido y demandantes de luz), muestran una respuesta de alto crecimiento a los HMA, además de una raíz con hongos micorrízicos abundantes. Por el contrario, los árboles de etapa tardía o (especies de crecimiento lento y tolerantes a la sombra), exhiben una baja colonización de HMA y también bajo crecimiento de los mismos, en raíces (Zangaro *et al.*, 2013).

2.1.6. Ciclo de vida de los HMA.

El ciclo de vida de los HMA comienza cuando los propágulos fúngicos (esporas en reposo, hifas intraradicales o extraradicales separadas) empiezan a crecer. Durante este crecimiento independiente limitado, se movilizan triacilglicéridos y glucógeno, los principales compuestos de almacenamiento de carbono del hongo; esta movilización impulsa el desarrollo de tubos germinales y proporciona esqueletos de carbono para el anabolismo, incluida la síntesis de la pared celular quitinosa que rodea todas las estructuras fúngicas. El crecimiento simbiótico se mantiene durante 1 y 2 semanas, durante las cuales el desarrollo del tubo germinal puede alcanzar varios centímetros. Sin embargo, si la simbiosis no se establece con éxito, dentro de este periodo, se da la detención del crecimiento y entran en un estado de latencia, teniendo la capacidad de volver a germinar varias veces, esto les posibilita a encontrar una raíz adecuada para colonizar (Bago *et al.*, 2000).

2.2. Marco referencial.

2.2.1. Factores que afectan el crecimiento de HMA.

En investigaciones realizadas por Juniper y Abbott (2006) referente a plántulas de diferentes aislamientos con especies de HMA en suelos salinos y no salinos, lograron demostrar que la colonización en las raíces de las plantas dada por algunos HMA, se ve afectada por la presencia de cloruro de sodio (NaCl), esto posiblemente se debe al contacto directo que tiene este mineral sobre los hongos. También se ha demostrado que “La humedad del suelo, la temperatura y en menor grado el pH, influyen en el crecimiento de esporas, como en el caso de *Glomus epigaeus*” (Daniels y Trappe, 1980).

Se ha descubierto que los sistemas agrícolas y desérticos, tienen una alta proporción de *Glomus* spp. Se sabe que forman esporas fácilmente, sin embargo, cuando una comunidad micorrízica natural se ve interrumpida por la aplicación repetida de fungicidas, esto tiende a afectar el crecimiento de los mismos. Favorablemente existen hongos resistentes a estos químicos y en algunos casos aumentan su población, como en el caso de las especies de *G. intraradices*, *G. mosseae* y *G. hoi* (Helgason y Fitter, 2009).

2.2.2. Diversidad morfológica de HMA.

Para medir la riqueza de especies de HMA, se resalta el uso de técnicas morfológicas, en lugar de los métodos de identificación molecular basados en PCR. Las esporas de HMA pueden tamizarse del suelo y luego clasificarse en diferentes tipos morfológicos, las mismas que pueden contarse para así obtener su abundancia y después usarse para reconstruir la estructura de la comunidad HMA o en ciertos casos para tenerlas registradas como presentes o ausentes y así lograr tener mayor conocimiento de la riqueza de especies HMA (Sanders, 2004).

En un estudio realizado por Redecker *et al.*, (2013) revisan la clasificación de *Glomeromycetes*, rechazando algunos nombres nuevos ya que se basan en un error y sinonimizándolo otros que, a pesar de que están válidamente publicados, no están basados en evidencia. Dando así como resultado una serie de datos morfológicos, mencionados a continuación:

Tabla 1. Clasificación de los hongos *Glomeromycetes*

<i>Glomeromycetes</i>		Tricispora	*	
		Otopora	*	
	<i>Diversisporaceae</i>	Diversispora	<i>D. spurca</i>	
		Corymbiglomus	*	
		Redeckera	<i>R. megalocarpa</i>	
		<i>Acaulosporaceae</i>	Acaulospora	<i>A. laevis</i>
	<i>Diversisporales</i>	<i>Sacculosporaceae</i>	Sacculospora	*
		<i>Pacisporaceae</i>	Pacispora	<i>P. scintillans</i>
	<i>Gigasporaceae</i>	Scutellospora	<i>S. calospora</i>	
		Gigaspora	<i>G. gigantea</i>	
		Intraomatospora	*	
		Paradentiscutata	*	
		Dentiscutata	<i>D. nigra</i>	
		Cetraspora	<i>C. gilmorei</i>	
		Racocetra	<i>R. coralloidea</i>	
		<i>Claroideo-glomeraceae</i>	Claroideoglomus	<i>C. claroideum</i>
		<i>Glomerales</i>	Glomus	<i>G. macrocarpum</i>
			<i>Glomeraceae</i>	Funneliformis
	Septoglomus		<i>S. constrictum</i>	
	Rhizophagus		<i>R. populinus</i>	
Sclerocystis	<i>S. coremioides</i>			
<i>Archaeosporales</i>	<i>Ambisporaceae</i>	Ambispora	<i>A. fennica</i>	
	<i>Geosiphonaceae</i>	Geosiphon	<i>G. pyriformis</i>	
	<i>Archaeosporaceae</i>	Archaeospora	<i>A. trappei</i>	

2.2.3. HMA presentes en los trópicos húmedos ecuatorianos.

Estudios realizados por Meza *et al.*, (2017) respecto a la identificación de HMA en plantaciones de *Gmelina arborea Roxb* (Melina) en los trópicos húmedos ecuatorianos, tomaron muestras de suelo y raíces en dos plantaciones de melina de 1 y 3 años, mostrando así la presencia de los HMA de los géneros *Glomus* y *Gigaspora*, teniendo como mayor representatividad en cantidad de esporas por gramo de suelo el género *Glomus*.

De igual manera Belezaca *et al.*, (2019) estudiaron 6 plantaciones de *Ochroma pyramidale* (Balsa) en zona central del Trópico Húmedo Ecuatoriano, donde se aislaron e identificaron cuatro géneros de HMA: *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, y *Gigaspora*, predominando el género *Glomus* en el suelo de todas las plantaciones, con poblaciones que estuvieron entre 27 y 169 esporas por 100 gramos de suelo seco, mientras que los demás géneros mostraron baja representatividad en todas las edades.

2.2.4. Beneficios que proveen los HMA a las plantas.

Los HMA proveen un grupo de biotróficos a la raíz que ofrecen beneficios de aproximadamente el 80% a las plantas. Por esto, son considerados biofertilizantes naturales, debido a que proveen al huésped de agua, nutrientes y lo protegen de agentes patógenos (Berruti *et al.*, 2016). Los HMA representan básicamente una alternativa efectiva a las prácticas de fertilización convencionales, las cuales por muchas generaciones ha sido el causante del deterioro en las propiedades del suelo, generando este cambio después de un periodo de transición, se conseguirá un sistema de agricultura sostenible.

En el estudio realizado por Menge (1983), determina que el uso comercial de HMA puede ser la solución al aumento de costos de energía agrícola y fertilizantes, favoreciendo a su vez el rendimiento de los cultivos. Debido a que los hongos micorrízicos se encuentran habitando la mayoría de los suelos, las plantas de cultivo utilizan sus capacidades únicas de fertilización, para esto ya existen métodos que indican qué suelos tienen más posibilidades de beneficiarse de las aplicaciones de HMA.

2.2.5. Interacción de HMA con especies forestales.

Varios estudios han demostrado que existen variedades de géneros de HMA, interactuando en especies forestales del trópico húmedo. Como es el caso de (Herrera y Ferrer, 1980) donde mencionan la evidente colonización de HMA en poblaciones naturales, en su investigación de meliáceas de la América tropical. La utilización excesiva de fertilizantes comerciales inorgánico en la producción de especies forestales para mejorar la calidad de su crecimiento, han demostrado que pueden afectar directamente al funcionamiento de la colonización de HMA, por lo tanto la aplicación de biotecnología en los HMA otorgaría beneficios considerables en la producción de forestales, obteniendo mayores rentabilidades y menores gastos, generando así que haya mayor enfoque al control de plagas y enfermedades (Pérez y Negreros, 2011).

Los nuevos enfoques en los sistemas agroforestales por la protección ambiental y producción autosostenible, han generado un sinnúmero de cuestionamientos que se han ejecutado como estudios, tal como lo menciona Jaimez (1997), en su investigación de HMA en sistemas agroforestales con *Persea americana* (aguacate), entre las especies forestales que se asocian a este cultivo mejorando su calidad, se encuentra *Albizia guachapele*, la cual permite la producción de HMA que favorecen a la interacción de simbiosis entre hongo y planta.

2.2.6. *Guazuma ulmifolia* (Guasmo).

Es un árbol caducifolio que tiene una altura de 8-15 m y un DAP de 30-40 cm, pertenece a la familia Sterculiaceae (Aguirre, 2002). La especie crece en planicies y hondonadas de bosques secos naturales o con intervención antropogénica, su distribución va de 0-2500 msnm, en las provincias de Los Ríos, El Oro, Esmeraldas, Galápagos, Guayas, Loja, Pastaza, Napo y Manabí (Jorgensen y León- Yáñez, 1999).

Esta especie es de gran importancia, siendo su madera la más utilizada para realizar construcciones tanto rurales, como artesanías, es beneficiosa en cuanto a relaciones en SAF por su producción de forraje y sombra. También consta de beneficios medicinales, los mismos que proveen sus frutos, estos son cocinados para aliviar la tos, bronquitis, y gripe (González *et al.*, 2005).

2.2.7. *Albizia Guachapele* (Guachapelí).

Es un árbol caducifolio con una altura de 20- 25 m y DAP de 40- 50 cm que pertenece a la familia Mimosaceae (Ministerio de Agricultura del Perú, 2002). Es de origen americano, siendo cultivado mayormente en la costa y Amazonía, se da en suelos profundos como en la zona de Guayas, E Oro, Los Ríos, Esmeraldas Napo, Manabí y Sucumbíos (Jorgensen y León- Yáñez, 1999).

Su uso maderable es de vital importancia para construcciones, ebanistería y postes, ayuda a la fijación de nitrógeno atmosférico y es relacionado con sistemas silvopastoriles por la sombra que brinda (Ministerio de Agricultura del Perú, 2002).

2.2.8. *Eugenia pustulescens* (Guayabo de monte).

Esta especie es perteneciente a la familia Myrtaceae y su distribución va desde el norte de Brasil, noreste de Argentina, Uruguay y Paraguay (Consolini *et al.*, 1999). Es valorada por su fruto, el cual es utilizado como alimento y fermentación de bebidas, sus hojas

proveen gran uso en la medicina popular, por medio de infusiones de sus hojas que funcionan como tratamiento para la artritis, reumatismo y como diurético (Revilla, 2002).

2.2.9. *Cecropia peltata* (Guarumo).

Es un árbol dioico con una altura de 5- 10 m de altura en ciertos casos de origen, puede crecer hasta 20 m, pertenece a la familia Cecropjaceae y se encuentra distribuida en bosques tropicales lluviosos, tiene facilidad de adaptación en sitios perturbados y es una de las mejores especies utilizadas para la recuperación de terrenos degradados, ya que es la pionera en regeneración natural de bosques, debido a su poca dependencia de nutrientes, además son muy beneficiosos porque cubren de manera rápida los barrancos, bordes de caminos, áreas deforestadas y aperturas que existen normalmente en un bosque (Álvarez, 2015).

2.2.10. Reducción de pérdidas de nutrientes del suelo.

Generalmente el mayor porcentaje en pérdida de nutrientes se da por el poco control de prácticas culturales, lo que conlleva a la lixiviación o emisión de gases. Estos eventos posteriormente son los causantes de efectos negativos al medio ambiente a pérdidas económicas considerables dentro de la producción agrícola. Es por esto que el proceso de adaptación que las plantas han desarrollado capacidades para adquirir más nutrientes, incluyendo así la formación de micorrizas arbusculares, ocasionando que las raíces de las plantas y los hongos se asocien y logren obtener nutrientes del suelo (Cavagnaro *et al.*, 2015).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización del área de estudio.

La presente investigación se realizó a nivel campo en el bosque secundario “Noé Morán”, ubicado en el humedal Abras de Mantequilla, Cantón Vines, Provincia de Los Ríos.

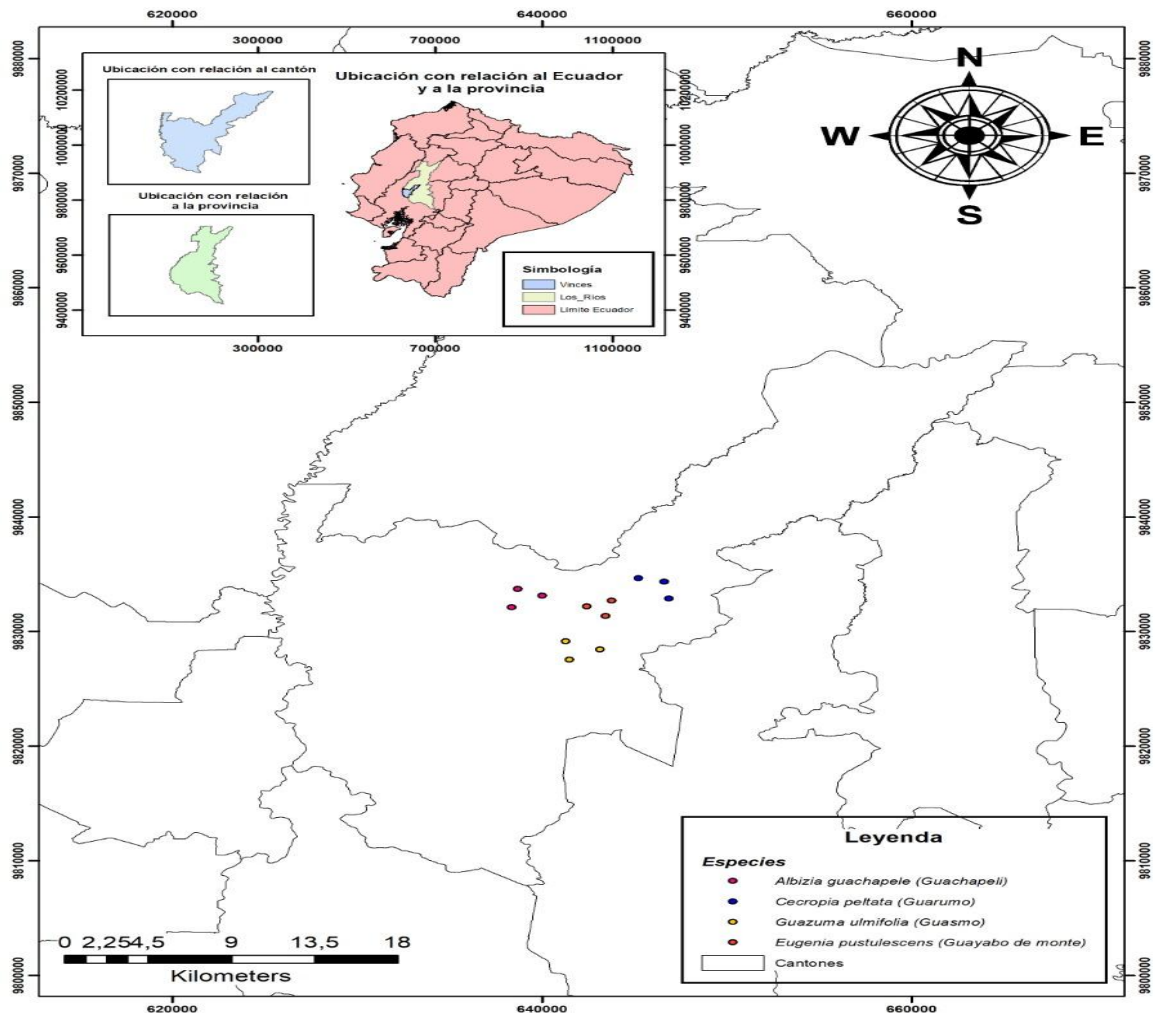


Figura 1. Ubicación representativa de los puntos establecidos para la recolección de muestras de suelo en el bosque secundario “Noé Morán”, ubicado en el humedal Abras de Mantequilla, Cantón Vines, Provincia de Los Ríos.

3.2. Características edafoclimáticas del sitio de estudio.

Tabla 2. Promedio anual de las características edafoclimáticas del bosque secundario “Noé Morán”, ubicado en el humedal Abras de Mantequilla, Cantón Vinces, Provincia de Los Ríos.

Datos	Promedio anual
Altitud	60 msnm
Temperatura media anual (°C)	25,5
Humedad relativa media (%)	82
Precipitación media anual (mm)	1.260
Días con precipitación	116
Velocidad media del viento (m/s)	1,4

Fuente: Instituto Nacional de Metodología e Hidrología (INAMHI), 2013.

3.3. Materiales.

3.3.1. Materiales de campo.

- Botas
- Fundas plásticas
- Machete
- Marcador permanente
- Pala
- Barreno
- Caja isopor

3.3.2. Materiales de laboratorio.

- Cajas petri
- Cubre objetos
- Embudos de vidrio
- Papel filtro
- Jeringuillas
- Lápiz
- Varillas de vidrio
- Pipetas
- Piscetas
- Micropipetas
- Porta objetos
- Probetas graduadas
- Resmas de papel bond A4
- Tamiz
- Tubos de ensayo
- Vasos de precipitación

3.3.3. Reactivos.

- Ácido láctico
- Alcohol antiséptico
- Alcohol polivinílico
- Glicerol
- Sacarosa

3.3.4. Equipos.

- Agitador calentador
- Balanza de precisión
- Computadora

- Estereomicroscopio
- Flash memory
- Impresora
- Microscopio óptico
- pH-metro
- Cartuchos de tinta a color y blanco/negro

3.4. Metodología.

3.4.1. Tipo de investigación.

El estudio que se realizó fue de tipo diagnóstico, se comenzó con la extracción de muestras de suelo para la identificación morfológica de especies de HMA, además se realizó un análisis físico-químico para determinar las relaciones de riqueza y abundancia de especies en función de esos parámetros.

3.4.2. Método de investigación

Para realizar esta investigación se emplearon los métodos, experimental e inductivo, los cuales permitieron evaluar el estado de colonización micorrízica arbuscular en el bosque secundario “Noé Morán” por parte de los elementos de investigación, se cuantificó e identificó especies de HMA utilizando los procedimientos descritos en claves taxonómicas especializadas y la página del INVAM (Internacional Vesicular Arbuscular Culture).

3.4.3. Campo.

Se recolectaron 4 muestras de suelo de las especies forestales *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en puntos establecidos al azar, cada muestra estuvo constituida por 3 sub muestras que fueron tomadas en un radio de 1 metro

del punto principal de colecta, cada muestra estuvo compuesta por aproximadamente 2kg de suelo. La recolección del suelo se realizó con ayuda de un barreno, con una profundidad de 0-20 cm, la herramienta se limpió con alcohol de 98% para prevenir la contaminación. Las muestras de suelo se almacenaron en fundas de plástico cerradas herméticamente y luego en cajas frías llenas de hielo, posteriormente se trasladaron al laboratorio de Química y Bioquímica de la UTEQ donde fueron colocadas en refrigeración a una temperatura de 6 a 10 °C, para luego realizar el aislamiento, conteo e identificación de las especies de HMA y también, obtener el análisis físico-químico del suelo del bosque secundario “Noé Morán”.

3.4.4. Laboratorio.

3.4.4.1. Aislamiento, conteo e identificación de esporas.

Se utilizó el método establecido por Gederman y Nicholson (1963) para el aislamiento e identificación de esporas, el cual se basa en el tamizado y decantación en húmedo, con modificaciones. El proceso se describe a continuación:

- Se pesó 100 g de suelo y se colocó en un vaso de precipitación, al que se le añadió 1000 mL⁻¹ de agua y se agitó durante 3 a 5 minutos, dependiendo del tipo de suelo. Con la agitación se produjo la dispersión de los terrones de suelo.
- La mezcla se dejó reposar durante 2 minutos y se pasó a través de un tamiz con apertura de malla de 75µm para separar las esporas. Este proceso de agitación y decantación se repitió tres veces.
- Lo que resultó del proceso de tamizado se recogió con cuidado y se vertió en vasos de precipitación de 100 mL⁻¹ con 40 a 50 mL⁻¹ de agua destilada.
- Mientras que, utilizando 4 tubos de centrifuga de 10 mL⁻¹ se añadió en cada uno 3 mL⁻¹ de solución de sacarosa al 20%. Luego se agregó 3 mL⁻¹ de solución de sacarosa al

60%, pero esta última solución se vertió en el fondo de la anterior para formar un gradiente de sacarosa. Por último, se agregó 4 mL^{-1} de la solución del suelo recogido de los tamices, de manera que la solución quedó por debajo del suelo suspendida en agua.

- Los tubos de centrifuga con el contenido de sacarosa y solución de suelo fueron sellados con parafilm y se colocó en la centrífuga con velocidad constante de 3400 r.p.m, durante 3 minutos.
- Una vez establecido el tiempo de centrifugación, los tubos se sacaron cuidadosamente de la centrifuga, teniendo la precaución de no romper la interfase agua-sacarosa.
- El contenido de los tubos se vertió en un tamiz de $75 \mu\text{m}$ y se lavó con agua destilada eliminando así la sacarosa.
- Lo que resultó de ese tamizado se depositó en envases de vidrio y posteriormente se agregó de a poco, haciendo repeticiones de hasta 3 por cada sub-muestra, en cajas de Petri cuadrículadas de aproximadamente 1 cm entre líneas, para hacer el conteo de esporas mediante el lente de un estereomicroscopio.
- Luego del conteo de esporas de HMA se procedió al aislamiento para la previa identificación, realizando el montaje de las mismas, utilizando una micropipeta para facilitar su extracción, colocándolas luego en portaobjetos.
- Las esporas de HMA colocadas en cada portaobjeto, fueron observadas e identificadas con la ayuda de un microscopio óptico y el apoyo de diferentes claves taxonómicas.

3.4.4.2. Medición de pH del suelo.

A las muestras de suelo extraídas del bosque secundario “Noé Morán”, se les midió el pH empleando la metodología propuesta por Steubing *et al.*, (2001) que mide el pH en agua (H_2O). El procedimiento consistió en depositar en un vaso de precipitación 20 g de suelo seco y tamizado con 50 mL^{-1} de agua destilada, se agitó la suspensión durante 10

minutos. Así para cada una de las muestras de suelo, hasta conseguir el resultado. La lectura del pH se registró en el sobrenadante de las suspensiones con un pH-metro marca OHAUS modelo starter 3100 series.

3.4.4.3. Preparación de reactivos.

a. Solución de lactoglicerol-polivinílico.

Se añadió 9,5 g de alcohol polivinílico en un vaso de precipitación de 100 mL⁻¹, 6 mL⁻¹ de glicerol, 30 mL⁻¹ de ácido láctico y 30 mL⁻¹ de agua destilada, luego se procedió a sellar el vaso de precipitación con papel de aluminio, colocándolo después en un agitador calentador, dejando agitar lentamente la solución por 4 a 6 horas con una temperatura de 60 – 70 °C, luego se almacenó el lactoglicerol-polivinílico en un envase oscuro de vidrio para luego ser utilizado.

b. Solución de sacarosa al 20% y 60%.

Para la preparación de la solución de sacarosa al 20%, se agregó en un vaso de precipitación de 100 mL⁻¹, 20 g de azúcar y 80 mL⁻¹ de agua destilada y finalmente se colocó la solución en un agitador por un tiempo estimado de 10 – 15 min.

Para la preparación de la solución de sacarosa al 60%, se añadió en un vaso de precipitación de 100 mL⁻¹, 60 g de azúcar y 40 mL⁻¹ de agua destilada y finalmente se colocó la solución en un agitador por un tiempo estimado de 15 – 20 min.

3.4.4.4. Evaluación morfológica de esporas de HMA.

La identificación de las esporas aisladas de las muestras del suelo recolectadas, se agruparon en morfotipos de acuerdo con sus características morfológicas observadas en el estereomicroscopio, como el tamaño, color y la ornamentación de la pared de esporas. Para facilitar la identificación de las esporas de HMA, éstas se colocaron en portaobjetos con alcohol lactoglicerol-polivinílico. Para observar mejor las paredes de cada espora de HMA, se realizó una ligera presión sobre el cubreobjetos, rompiendo así las mismas y observarse mejor bajo el microscopio óptico. La identificación taxonómica se llevó a cabo con la colaboración del Docente Oscar Prieto Benavides y siguiendo las descripciones morfológicas disponibles en la página de la (Internacional Vesicular Arbuscular Culture) (INVAM, 2016).

3.4.5. Análisis estadístico.

Para analizar las comunidades de esporas de HMA presentes en el suelo del bosque secundario “Noé Morán” en el humedal Abras de Mantequilla. Se calculó el índice de diversidad de especies de Shannon, mientras que para determinar la Equitabilidad y dominancia de especies se utilizó el índice de Pielou respectivamente. La riqueza de especies se determinó por el número total de especies identificadas en cada área y se calculó utilizando el índice de Jackknife 1 o de primer orden. Se realizó un análisis de correlación de Pearson, entre la abundancia de esporas, la riqueza de especies y los factores físico - químicos de las muestras de suelo recolectadas, realizando un análisis de varianza por ANOVA, utilizando la plataforma de IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 23, para las diferencias de medias se utilizó la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Los datos de la abundancia de esporas de HMA en cada muestra de suelo, se transformaron por medio de Hellinger, quedando solamente las variables predominantes para realizar el análisis de redundancia por medio del programa R.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.

4.1.1. Especies de HMA identificadas por muestra de suelo.

En muestras de suelo obtenidas del bosque "Noé Morán" se identificaron 22 especies de 5 familias de esporas de HMA. Las esporas de HMA identificadas pertenecen a *Claroideoglomerus* (familia de las Claroideoglomeraceae), *Acaulospora* (familia de las Acaulasporaceae), *Gigaspora*, *Dentiscutata* y *Scutellospora* (familia de las Gigasporaceae), *Glomus*, *Rhizophagus* (familia de las Glomeraceae), y *Paraglomerus* (familia de las Paraglomeraceae).

En las especies forestales *Guazuma ulmifolia* y *Eugenia pustulescens* se tuvo presencia de 14 especies de HMA de las 22 encontradas en el lugar de estudio. La especie *Guazuma ulmifolia* tuvo la mayor abundancia de individuos (101) a diferencia de *Cecropia peltata* que tuvo la menor abundancia de individuos (79). Las especies *Scutellospora* sp1, *Glomus* sp1, *Glomus* sp2, *Glomus* sp3 aparecieron en todas las especies forestales, siempre con porcentajes más altos en comparación con las otras especies registradas. Las especies *Acaulospora mellea*, *Gigaspora gigantea* y *Gigaspora margarita* solo se encontraron en la especie *Guazuma ulmifolia*, la especie *Acaulospora elegans* solo se encontró en la especie *Albizia guachapele*, las especies *Paraglomerus occultum* y *Acaulospora rehmi* solo se encontraron en la especie *Eugenia pustulescens* y la especie *Archaeospora trappei* solo se encontró en la especie *Cecropia peltata*. Se muestra en (Tabla 3).

Tabla 3. Especies de HMA con sus respectivas familias y número de esporas identificadas en la época lluviosa de las especies forestales: *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.

Abreviatura	Familia/Especies HMA	Muestras			
		<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Albizia guachapele</i>	<i>Eugenia pustulescens</i>	<i>Cecropia peltata</i>
	Acaulosporaceae				
Acau1	<i>Acaulospora</i> sp1	-	3	11	-
	<i>Acaulospora colombiana</i> (Spain & Schenck) <i>Kaonongbua</i> , Morton and				
Acol	Bever	2	-	-	4
Aeleg	<i>A. elegans</i> Gerd. & Trappe	-	4	-	-
Arehm	<i>A. rehmi</i> Sieverd. & S. Toro	-	-	3	-
	<i>A. kentinensis</i> (C.G Wu & Y.S. Liu) <i>Kaonongbua</i> , J.B. Morton &				
Akent	Bever	25	6	-	27
Akosk	<i>A. koskei</i> Blaszk	-	5	2	6
Amell	<i>A. mellea</i> Spain and Schenck	3	-	-	-
	<i>Archaeospora trappei</i> (Ames & Linderman) J.B. Morton and D.				
Artra	Redecker	-	-	-	2
	Claroideoglomeraceae				
	<i>Claroideoglomus etunicatum</i> (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & A.				
Cetun	Schüßler	-	12	4	5
	Gigasporaceae				
	<i>Dentiscutata heterogama</i> (T.H. Nicolson. and Gerd.) Sieverd., F.A.				
Dhete	Souza and Oehl	8	-	11	3
Giga1	<i>Gigaspora</i> sp1	4	6	-	1
Gigan	<i>Gigaspora gigantea</i> (T.H. Nicolson. and Gerd.) Gerd. & Trappe	2	-	-	-
Gmarg	<i>G. margarita</i> Becker and Hall	7	-	6	-

Scut1	<i>Scutellospora</i> sp1	9	5	3	4
	Glomeraceae				
	<i>Funneliformis mosseae</i> (T.H. Nicolson. and Gerd.) C. Walker & A.				
Fmoss	Schüßler	8	-	5	-
Glo1	<i>Glomus</i> sp1	14	17	11	12
Glo2	<i>Glomus</i> sp2	8	5	3	5
Glo3	<i>Glomus</i> sp3	4	14	10	6
Gmult	<i>Glomus multicaule</i> Gerd. & B.K. Balshi	2	2	-	4
	<i>Rhizophagus clarus</i> (T.H. Nicolson. & N.C. Schenck) C. Walker & A.				
Rclar	Schüßler	5	4	8	-
Rintr	<i>Rhizophagus intraradices</i> (Scheenck & Sm.) C. Walker & A. Schüßler	-	4	3	-
	Paraglomeraceae				
Poccu	<i>Paraglomus occultum</i> (C. Walker) J.B. Morton & D. Redecker	-	-	11	-

4.1.2. Densidad de especies de HMA por cada 100 g de suelo (vivas/muertas).

En la densidad total de HMA vivas/muertas en 100 g de suelo de las especies forestales presentes en el bosque “Noé Morán”, indica que la mayor cantidad de HMA se presentó en la especie *Guazuma ulmifolia* con un total de 174 especies de HMA, seguida de la especie *Eugenia pustulescens* con un total de 162 especies de HMA, *Albizia guachapele* con un total de 151 especies de HMA, el menor número de HMA se presentó en la especie *Cecropia peltata* con un total de 133 especies de HMA, véase en (Tabla 4).

Tabla 4. Datos del conteo de HMA por número de muestra por cada 100 g de suelo aisladas de las especies forestales *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.

Número de Muestra	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Albizia guachapele</i>	<i>Eugenia pustulescens</i>	<i>Cecropia peltata</i>
M1	56	73	39	49
M2	64	25	90	57
M3	54	53	33	27
TOTAL	174	151	162	133

4.1.3. Densidad de especies de HMA identificadas por cada 100 g de suelo.

En la densidad total de HMA identificadas en 100 g de suelo de las especies forestales presentes en el bosque “Noé Morán”, indica que la mayor cantidad de HMA se presentó en la especie *Guazuma ulmifolia* con un total de 101 esporas, seguida de la especie *Eugenia pustulescens* con un total de 91 esporas, *Albizia guachapele* con un total de 87 esporas, el menor número de esporas se presentó en la especie *Cecropia peltata* con un total de 79 esporas, véase en (Tabla 5).

Tabla 5. Datos de los HMA identificados por cada 100 g de suelo, en cuatro diferentes especies forestales: *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.

Número de Muestra	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Albizia guachapele</i>	<i>Eugenia pustulescens</i>	<i>Cecropia peltata</i>
M1	20	39	16	29
M2	25	20	57	30
M3	56	28	18	20
TOTAL	101	87	91	79

4.1.4. Riqueza media de especies (S) por muestra, índice de Shannon (H) e índice de equitabilidad de Pielou (J).

En el análisis de la riqueza media de especies (S), el índice de Shannon (H) y el índice de equitabilidad de Pielou (J). Se presentó variación en la riqueza de especies según el tipo de especie presente y tipos de esporas, los valores más alto lo presentaron *Albizia guachapele* y *Eugenia pustulescens* con 7,00 cada una respectivamente, y el menor valor lo presentó la especie *Guazuma ulmifolia* con 6.33. Para el índice de Shannon el valor más alto lo presentó la especie *Albizia guachapele* con 1,80 y el menor valor lo presentó *Cecropia peltata* con 1,68. En el índice de equitabilidad de Pielou presentó diferencia significativa la especie *Guazuma ulmifolia* con un valor de 0,97 a diferencia de la especie *Cecropia peltata* 0,88. Véase en (Tabla 6).

Tabla 6. Riqueza media de especies (S) por muestra, índice de Shannon (H) e índice de equitabilidad de Pielou (J) en la época lluviosa en las especies forestales: *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata*, en el bosque secundario “Noé Morán”.

Índices	Especies forestales				Media
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Albizia guachapele</i>	<i>Eugenia pustulescens</i>	<i>Cecropia peltata</i>	
S	6,33 ± 0,58	7,00 ± 1,00	7,00 ± 1,73	6,67 ± 0,58	6,75
H	1,78 ± 0,07	1,80 ± 0,12	1,78 ± 0,33	1,68 ± 0,27	1,76
J	0,97 ± 0,01	0,93 ± 0,03	0,92 ± 0,05	0,88 ± 0,10	0,92

4.1.5. Análisis de pH del suelo en el bosque secundario “Noé Morán”.

En el bosque secundario “Noé Morán”, se identificó la asociación de HMA con las especies forestales *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata*. De las muestras de suelo recolectadas, se determinó en solución de agua el valor de pH de 5,73; indicando que en la zona de estudio presenta suelos moderadamente ácidos (Tabla 7).

Tabla 7. Especies forestales y pH del suelo obtenido en solución de agua (H₂O), en el bosque secundario “Noé Morán”.

VARIABLES	Bosque “Noé Morán”
ASOCIACIONES VEGETALES	<i>Guazuma ulmifolia</i> (Guasmo), <i>Albizia guachapele</i> (Guachapelí), <i>Eugenia pustulescens</i> (Guayabo de monte) y <i>Cecropia peltata</i> (Guarumo)
pH DEL SUELO EN AGUA	5,73

4.1.6. Análisis químico de las muestras de suelo correspondientes a las diferentes especies forestales del bosque secundario “Noé Morán”.

Una vez realizado el análisis químico del suelo, estadísticamente ($P < 0,05$) se determinó que en el suelo de la especie *Cecropia peltata* tiene un mayor contenido medio de K, MO, S, Al, pH, Ca, Mg, Cu y Zn y en menor proporción Fe. Las especies forestales *Guazuma ulmifolia*, *Eugenia pustulescens*, *Albizia guachapele* a diferencia de la primera, presentaron mayor contenido de B, S, P y Mn. Todo esto indica que la presencia de la especie *Cecropia peltata* puede ayudar a mejorar los factores químicos del suelo en la zona de estudio. Véase en (Tabla 8).

Tabla 8. Factores químicos de las muestras de suelo recogidas en la época lluviosa de las especies forestales: *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.

Factores químicos	Especies forestales				Media
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Albizia guachapele</i>	<i>Eugenia pustulescens</i>	<i>Cecropia peltata</i>	
pH	6,07 ± 0,34a	5,46 ± 0,38 ^a	5,81 ± 0,51a	5,57 ± 0,59a	5,73
MO	23,67 ± 2,52a	23,00 ± 1,00a	24,33 ± 2,08a	24,00 ± 4,00a	23,75
P	5,67 ± 1,53a	7,33 ± 1,15 ^a	6,67 ± 2,31a	6,00 ± 1,00a	6,42
K	57,00 ± 2,00a	54,33 ± 17,95 ^a	42,00 ± 20,88a	63,33 ± 5,13a	54,17
Ca	1,33 ± 0,58a	1,33 ± 0,58 ^a	1,67 ± 1,15a	1,67 ± 0,58a	1,50
Mg	1,33 ± 0,59a	1,67 ± 0,58 ^a	1,33 ± 0,58a	1,67 ± 0,58a	1,50
Al	6,00 ± 1,00a	6,00 ± 2,00a	6,67 ± 0,58a	6,33 ± 2,08a	6,25
S	8,00 ± 1,00a	7,33 ± 0,58 ^a	6,33 ± 0,58a	7,33 ± 2,08a	7,25
Cu	0,63 ± 0,15a	0,5 ± 0,17 ^a	0,40 ± 0,17a	0,67 ± 0,15a	0,55
Fe	9,33 ± 1,53ab	7,67 ± 1,53ab	11,00 ± 1,00a	7,00 ± 1,00b	8,75
Zn	0,29 ± 0,06a	0,33 ± 0,06 ^a	0,39 ± 0,11a	0,46 ± 0,11a	0,370
Mn	10,93 ± 0,81a	8,97 ± 0,55 ^a	7,60 ± 2,67a	0,29 ± 0,04b	6,95
B	0,27 ± 0,07a	0,18 ± 0,02 ^a	0,29 ± 0,32 ^a	0,22 ± 0,08a	0,24

Significancia obtenida con el nivel de probabilidad del 5% según la prueba de Tukey.

4.1.7. Análisis físico de las muestras de suelo correspondientes a las diferentes especies forestales del bosque secundario “Noé Morán”.

En los atributos físicos del suelo, las texturas arena, limo y arcilla, no presentaron diferencias significativas entre las especies, en la textura arena los valores más altos se presentaron en las especies *Albizia guachapele* con 294,67 y *Guazuma ulmifolia*. con 265,33; en la textura limo los valores más altos los tuvieron las especies *Eugenia pustulescens* con 80,00 y *Albizia guachapele* con 70,67; en la textura arcilla los valores más altos se presentaron en las especies *Albizia guachapele* con 167,00 y *Guazuma ulmifolia* con 156,67. Todos estos valores fueron obtenidos estadísticamente con significancia ($P < 0,05$) al 95%, se muestra en (Tabla 9).

Tabla 9. Factores físicos de las muestras de suelo recogidas en la época lluviosa de las especies forestales: *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.

Factores físicos	Especies forestales				Media
	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Albizia guachapele</i>	<i>Eugenia pustulescens</i>	<i>Cecropia peltata</i>	
Arena	265,33 ± 61,17a	294,67 ± 61,08 ^a	258,67 ± 77,61a	211,67 ± 48,13a	257,58
Limo	62,33 ± 10,41a	70,67 ± 7,37 ^a	80,00 ± 19,00a	55,00 ± 16,64a	67
Arcilla	156,67 ± 11,24a	167,00 ± 39,23a	92,00 ± 16,05b	94,33 ± 5,03b	127,5

Significancia obtenida con el nivel de probabilidad del 5% según la prueba de Tukey.

4.1.8. Análisis de correlación entre los factores químicos del suelo, la abundancia y riqueza de esporas de HMA.

El análisis de correlación lineal de Pearson de atributos químicos y esporas de HMA (Tabla 10), muestra que la abundancia de esporas de HMA y la riqueza de especies se encuentran correlacionadas con varios factores químicos del suelo. En cuanto a la abundancia de esporas en la especie *Guazuma ulmifolia*, las mayores correlaciones se obtuvieron con K, Ca, Mg, y Al. Con respecto a la riqueza de especies, correlaciones mayores se obtuvieron con K, Ca, Mg, Al y S. En la especie *Albizia guachapele*, tanto en la abundancia como en la riqueza, las mayores correlaciones se tuvieron con los elementos MO, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe y B. La especie *Eugenia pustulescens* presentó en la abundancia como en la riqueza de especie, correlaciones altas en los mismos elementos químicos pH, MO P, Ca, Mg, Al, S, Cu, y Mn. A diferencia de la especie *Cecropia peltata* que tuvo mayor correlación con los elementos MO, P, Ca, Mg y Al. Todo esto se obtuvo mediante probabilidad estadística de ($P < 0,01$) y ($P < 0,05$).

Tabla 10. Factores químicos en correlación con la riqueza de especies y abundancia de esporas de HMA en la época lluviosa del bosque secundario “Noé Morán”.

Factores químicos	Especies							
	<i>Guazuma ulmifolia</i>		<i>Albizia guachapele</i>		<i>Eugenia pustulescens</i>		<i>Cecropia peltata</i>	
	Abundancia de esporas	Riqueza de especies	Abundancia de esporas	Riqueza de especies	Abundancia de esporas	Riqueza de especies	Abundancia de esporas	Riqueza de especies
pH	0,001*	0,562*	0,053*	0,562*	0,009**	0,272**	0,120*	0,469*
MO	0,015*	0,517*	0,064**	0,497**	0,080**	0,605**	0,072**	0,335**
P	-0,067*	0,391*	0,411**	0,420**	0,336**	0,495**	0,072**	0,335**
K	0,208**	0,384**	-0,016**	0,481**	-0,169*	0,469*	0,122*	0,512*
Ca	-0,250**	0,616**	-0,018**	0,484**	-0,338**	0,648**	0,128**	0,366**
Mg	-0,497**	0,354**	0,018**	0,484**	-0,336**	0,495**	0,199**	0,664**
Al	0,208**	0,384**	-0,169ns	0,516ns	0,336**	0,495**	0,250**	0,315**
S	0,001*	0,570**	-0,149**	0,503**	-0,338**	0,648**	-0,121*	0,484*
Cu	-0,026*	0,483*	-0,149**	0,503**	0,336**	0,495**	0,070ns	0,667ns
Fe	-0,108ns	0,646ns	-0,065**	0,552**	0,001ns	0,733ns	-0,122ns	0,633ns
Zn	0,134ns	0,577ns	0,414*	0,437*	-0,023*	0,695*	-0,004ns	0,440ns
Mn	0,086ns	0,627ns	0,103ns	0,516ns	0,085**	0,598**	-0,022*	0,338*
B	0,109ns	0,369ns	-0,065**	0,552**	0,172*	0,259*	0,077ns	0,664ns

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05

**.. La correlación es significativa en el nivel 0,01

4.1.9. Análisis de correlación entre los factores físicos del suelo, la densidad y riqueza de esporas de HMA.

El análisis de correlación de Pearson de atributos físicos y esporas de HMA, en cuanto a la densidad y riqueza de esporas en las especies *Guazuma ulmifolia* y *Albizia guachapele* tuvieron la mayor correlación con la textura Limo. Sin embargo, en la especie *Eugenia pustulescens* tuvo correlación con las texturas de Limo y Arcilla tanto en la densidad como en la riqueza de especie, la especie *Cecropia peltata* no presentó correlación con las texturas del suelo. Todo esto se obtuvo mediante probabilidad estadística de ($P < 0,01$) y ($P < 0,05$); véase en (Tabla 11).

Tabla 11. Factores físicos en correlación con la riqueza de especies y abundancia de esporas de HMA en la época lluviosa del bosque secundario “Noé Morán”.

Factores físicos	Especies							
	<i>Guazuma ulmifolia</i>		<i>Albizia guachapele</i>		<i>Eugenia pustulescens</i>		<i>Cecropia peltata</i>	
	Abundancia de esporas	Riqueza de especies	Abundancia de esporas	Riqueza de especies	Abundancia de esporas	Riqueza de especies	Abundancia de esporas	Riqueza de especies
Arena	-0,136ns	0,389ns	-0,096*	0,481*	-0,043ns	0,741ns	-0,019ns	0,506ns
Limo	0,036**	0,442**	0,018**	0,481**	0,043*	0,065*	0,109ns	0,680ns
Arcilla	-0,030ns	0,598ns	-0,002*	0,479*	0,180*	0,456*	-0,037ns	0,583ns

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05

4.1.10. Análisis de redundancia.

En la figura 2, mediante criterio de selección por colinealidad de variables, el programa seleccionó las variables más significativas para el análisis de redundancia. En los resultados del modelo r calculado tuvo un valor igual a 1, lo que significa que se obtuvo una correlación positiva perfecta. Las variables de predictores de este modelo fueron Fe, y el Cu. La especie de HMA *Glomus* sp3 se correlacionó positivamente con P y Mg. Las especies de HMA *Gigaspora* sp1, *Acaulospora colombiana*, *Acaulospora mellea*, *Glomus multicaule*, *Acaulospora koskei*, se correlacionaron positivamente entre Mg y Cu. Las especies *Rhizophagus intraradices*, *Paraglomus occultum*, *Claroideoglomus etunicatum*, se correlacionaron positivamente entre Zn, pH y MO.

Las especies *Rhizophagus clarus* y *Acaulospora* sp1 se correlacionaron positivamente con MO, sin embargo, *Rhizophagus clarus* también tuvo una correlación positiva con Fe. Las especies *Acaulospora rehmi*, *Gigaspora margarita* y *Funneliformis mosseae* tuvieron una correlación positiva entre Fe y Ca. *Dentiscutata heterogama*, *Gigaspora gigantea*, *Archaeospora trapei*, *Glomus* sp1, *Glomus* sp2, *Acaulospora elegans* y *Scutellospora* sp1, se correlacionaron positivamente entre Al y K. La especie de HMA *Acaulospora kentinensis* se correlacionó negativamente con las propiedades del suelo.

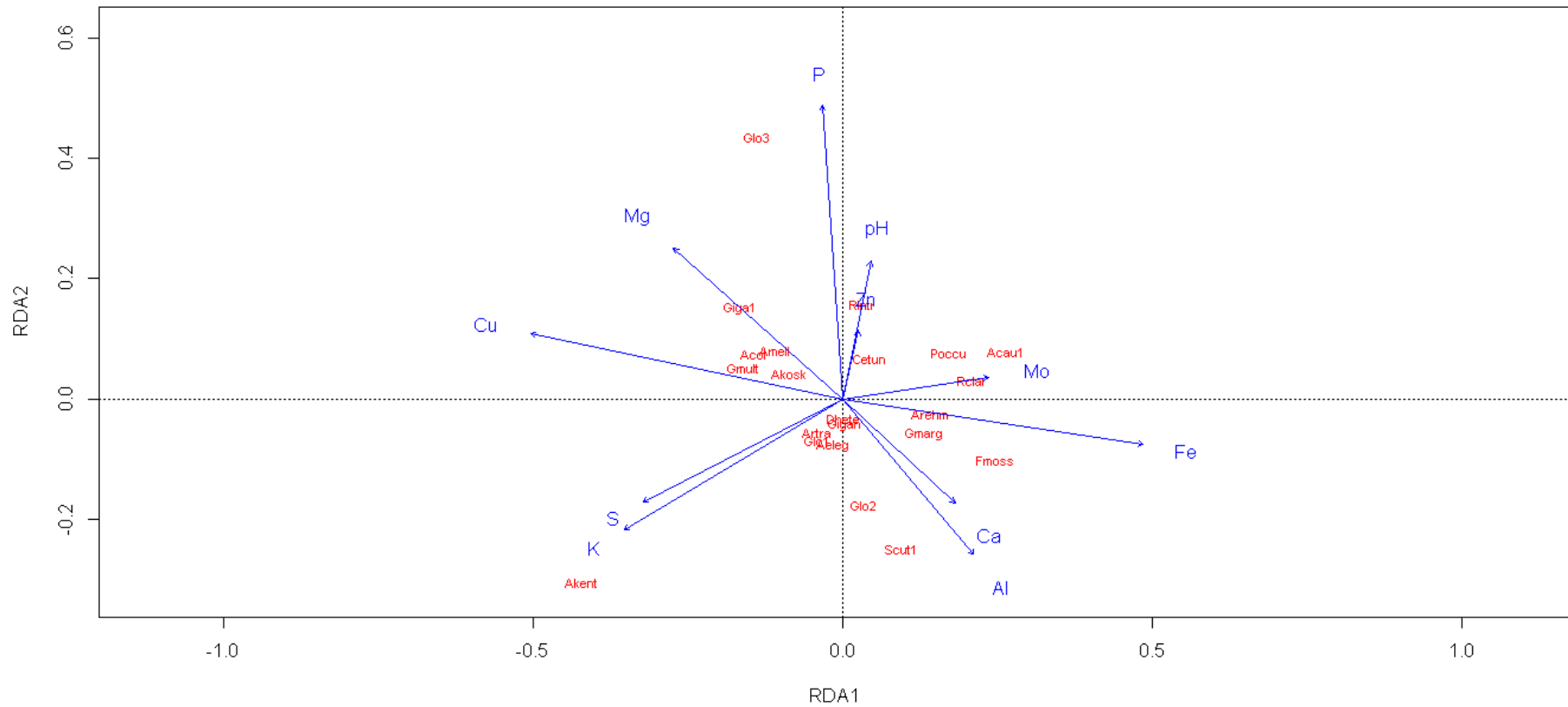


Figura 2. Distribución de los factores químicos del suelo en las comunidades HMA en el bosque secundario “Noé Morán”.

4.2. Discusión.

La identificación morfológica de los HMA encontrados en *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata*, presentan una gran variedad de especies que tienen similitud con Mirzaei y Moradi (2017), en su estudio realizado de relaciones entre la biodiversidad de la flora, las propiedades fisicoquímicas del suelo y la diversidad de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en un bosque semiárido, donde se identificaron 17 especies de HMA de las familias Glomeraceae, Claroideoglomeraceae, Diversisporaceae, Gigasporaceae y Acaulosporaceae, esto por la concentración de P en el suelo y su textura, según sus análisis. Davison *et al.*, (2021) en su investigación de la temperatura y el pH definen el espacio de nicho realizado por los hongos micorrícicos arbusculares, donde se presentaron especies de las familias Glomeraceae, Acaulosporaceae y Gigasporaceae y demostraron que la familia Glomeraceae estuvo interactuando en distintas condiciones, la familia Acaulosporaceae tuvo nichos óptimos donde existieron bajos niveles de temperatura y pH, por otro lado, la familia Gigasporaceae se presentó en condiciones con alta precipitación.

En la investigación se obtuvieron especies de HMA que concuerdan con Peñaloza (2019) en su investigación de aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en la producción de plantas de selva baja caducifolia con fines de reforestación, donde se encontraron especies de HMA que corresponden a *Glomus* sp., *Glomus aggregatum*, *Cloroideglomus* sp. y *Acaulospora* sp. Cuervo y Rivas (2007), publicaron resultados similares en su estudio respecto a la cuantificación de hongos micorrícicos en muestras de suelo en plantaciones de *Tabebuia rosea* y *Cordia alliodora*, destacando que los géneros *Glomus* sp. con mayor presencia, seguido de *Gigaspora* sp fueron los más abundantes en relación a los otros géneros identificados. Esta investigación coincide con los resultados obtenidos por (Cardona *et al.*, 2005), en los análisis de abundancia de actinomicetes y micorrizas arbusculares en paisajes fragmentados de la Amazonía colombiana, donde señalan que *Glomus* es el género que tuvo mayor distribución en la zona Amazónica y que toleró altos grados de acidéz.

Los resultados de las muestras de suelo obtenidos de *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata*, registraron que existe la presencia de HMA en cantidades favorables, lo que concuerda con (Howeler *et al.*, 1987) en su investigación de aspectos prácticos de la tecnología micorrícica en algunos cultivos y pastos tropicales, donde realizaron un conteo de esporas nativas en *Brachiaria decumbens* con un promedio de 1000 esporas/100 g de suelo seco. Asimismo Serralde y Ramírez (2004) en su estudio de análisis de poblaciones de micorrizas en *Zea mays* (Maíz) cultivado en suelos ácidos, bajo diferentes tratamientos agronómicos, registraron un conteo de esporas de 400 a 1600 esporas/100 g de suelo seco. Por otro lado Cuervo y Rivas (2007), en sus análisis respecto a la cuantificación de hongos micorrícicos en muestras de suelo en plantaciones de *Tabebuia rosea* y *Cordia alliodora*, obtuvieron diferencias significativas entre *Cordia alliodora*, la cual tuvo mayor número de esporas, con un total de 558/100 g de suelo y *Tabebuia rosea* con un total de 514/100 g de suelo.

En cuanto a cantidad de esporas encontradas por repeticiones, Hernández y Monroy (2019) en la caracterización de hongos micorrícicos arbúsculares asociados a tres clones de *Theobroma cacao l.* (Cacao), reportaron que la mayor cantidad correspondió a FSA 12 con 220 esporas/100 g de suelo, luego CCN 51 con 169/100 g de suelo y los menores valores se dieron en ICS 95 con 139/100 g de suelo. La mayoría de los HMA no generan grandes cantidades de esporulación, debido a los cambios drásticos que se generan en el suelo (Peña *et al.*, 2006).

Generalmente los cambios en los microorganismos se dan por las diferentes condiciones ambientales o los genotipos de las plantas implicadas según (Rodríguez *et al.*, 2014). Lo cual se ve reflejado en el género Acaulospora, mismo que es de los más abundantes en el trópico y ha generado esporas altamente resistentes a cambios de pH, y concentraciones de P (Coughlan *et al.*, 2000), debido a esto (Ruiz *et al.*, 2011), deciden interpretar que estas diferencias se pueden con las características químicas del suelo como la acidez y contenido de nutrientes.

Las condiciones naturales del suelo, desde el momento que se ven afectadas por factores externos sean de manera positiva o negativa, bajo estas circunstancias pueden influenciar la actividad de las micorrizas. Se demostró por medio de los análisis respectivos en este estudio que las mayores correlaciones entre los atributos del suelo, densidad y la riqueza de especies de HMA fueron, K, Ca, Mg, Al, P. Sin embargo en estudios realizados por (Arteaga, 2019), en localidades de Colombia se determinó que existe correlación directa entre el porcentaje disponible de materia orgánica con la presencia de HMA, esto se debe en gran parte a que la relación es directamente proporcional, a mayor disponibilidad de materia orgánica, mayor actividad simbiótica de los HMA, mientras que los valores establecidos referente a la correlación de densidad de esporas, relacionados con los parámetros fisicoquímicos del suelo, muestran que esta densidad de esporas, con gran significancia positiva se correlaciona con: la MO, P, Ca, Mg. Y también se considera en este estudio la significancia del Na y la densidad aparente con los HMA. También se estableció una correlación negativa significativa considerando la porosidad total y el porcentaje de humedad y por el contrario con el pH, CIC, K y densidad real no se registró ningún tipo de correlación significativa.

Se ha demostrado también que en ocasiones no influye de manera negativa el uso insumos agronómicos sobre la actividad de los HMA, como lo menciona (Posada *et al.*, 2018), demostrando que en Colombia la intensidad del manejo agronómico y los parámetros del suelo influenciaron de manera diferente en este estudio, obteniendo mayor correlación positiva significativa con la M.O. y el PH, se encontró que los parámetros físico químicos del suelo definen mucho que la correlación sea significativa en la riqueza de HMA. Mientras que también la estabilidad de los agregados del suelo explica levemente la riqueza de especies de HMA en Colombia e igual en México.

La actividad micorrícica se ha encontrado que se presenta de manera variable dependiendo de muchos factores y esto coincide con lo mencionado por (Pérez y Peroza, 2013) quien encontró que las concentraciones altas de Ca y Mg tienen efectos negativos en la Biota del suelo, por ende al momento de realizar cualquier estudio de HMA se va a encontrar un número reducido de esporas y afectará directamente en la correlación entre los parámetros físico químicos del suelo y la riqueza y densidad. Al evaluar la concentración de P y Mg e la Zona de Magdalena Medio los valores detectados fueron

mayores a los encontrados en la subregión Norte, donde se demostró que la correlación negativa con el K puede influenciar al número de esporas, esto probablemente se debe a las altas concentraciones de este elemento esta locación (Cabrales *et al.*, 2016).

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- Se lograron identificar morfológicamente 22 especies de HMA que corresponden a 5 familias, Acaulosporaceae, Claroideoglomeraceae, Gigasporaceae, Glomeraceae y Paraglomeraceae, respectivamente, relacionadas con las especies maderables en el área, la época en la que se tomaron las muestras de suelo y las propiedades que presentaron, y estas fueron las que limitaron la concentración de HMA en esta investigación.
- La abundancia y riqueza de HMA encontradas en 100 g de suelo, estuvieron distribuidas de la siguiente manera, según el conteo e identificación de esporas: la abundancia la tuvieron las especies *Guazuma ulmifolia* y *Eugenia pustulescens* respectivamente y la riqueza la obtuvieron *Albizia guachapele* y *Eugenia pustulescens*, por la variedad de especies en las familias Acaulosporaceae y Glomeraceae por lo cual se determinó en el presente estudio que la diversidad de HMA por determinada cantidad de suelo, tiene beneficios considerables en el establecimiento de las especies forestales, y es de vital importancia conocer de ellos para mejorar su actividad, fundamentalmente por los beneficios que otorgan.
- Se identificó mediante un análisis de suelo las diferentes características de las propiedades físico-químicas de humedal estudiado, para tener en consideración como se desarrollan las actividades simbióticas entre los HMA-suelo-planta, donde se identificó que hubo predominancia en la cantidad de Arena y Arcilla, demostrando que la especie *Albizia guachapele* posee mayor afinidad por este tipo de suelo y en el estudio de correlación se demostró que la especie *Guazuma ulmifolia*, en cuanto a la abundancia de esporas, las mayores correlaciones se obtuvieron con los elementos, K, Ca, Mg, y Al y la riqueza de especies, correlaciones mayores se obtuvieron con K, Ca, Mg, Al y S en la especie *Albizia guachapele*. Considerando también la especie *Cecropia peltata* que tuvo mayor correlación con los elementos MO, P, Ca, Mg y Al. Por lo que se puede considerar que estas especies pasarían por un proceso de adaptación acelerado y presentar mejores resultados, a fin de tener mayor simbiosis con los HMA que se encuentran en este tipo de humedales.

5.2. Recomendaciones.

- Es necesario realizar también este estudio en otra temporada, para establecer diferencias y conocer en cual de las dos estaciones climáticas marcadas del país, se encuentra la mayor actividad micorrícica y tener así mayor diversidad y riqueza de especies para estudiar.
- Mantener las condiciones de los humedales en buen estado para salvaguardar la integridad de las especies que en ella habitan, evitando el uso de insumos agronómicos e incentivando el control y uso de microorganismos benéficos en estos humedales, provocando así una tendencia de manejo orgánico que sería proporcional a mejorar la actividad simbiótica.
- Para realizar este tipo de estudio, se necesita de equipos de alta calidad en el proceso de laboratorio, ya sean microscopios, tamices y entre otros materiales indispensables para realizar estos análisis, debido a que se hubiesen hecho evaluaciones morfológicas de las esporas por su condición, así se obtendrían más variables a identificar y estudiar. De igual manera, las condiciones presentadas por la dificultad para conseguir los reactivos deberían ser facilitados por convenios de la universidad con entidades proveedoras de estas necesidades.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Literatura citada.

- Aguirre, Z. (2002). Árboles austro ecuatorianos poco conocidos. En Aguirre Z, Madsen J, Cotton E. y H. Balslev. Botánica Austroecuatoriana. Editorial UTPL. Universidad Nacional de Loja, Universidad de Aarhus. Loja. Ecuador. 351-374 p.
- Álvarez, P. (2015). Caracterización morfológica e identificación de zonas potenciales de conservación de *Cecropia hololeuca* (Guarumo), en los siete transectos del proyecto banco de germoplasma. Latacunga, Ecuador. 38-92 p.
- Arteaga, E. (2019). Identificación de la diversidad y colonización de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) nativos, en el cultivo de *Coffea arabica* L. (Café), en cuatro provincias (El Dorado, Lamas, San Martín y Moyobamba) en la región San Martín. 96 p.
- Bago, B., Pfeffer, P. y Shachar-Hill, Y. (2000). Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. *Plant Physiol*, 124(3), 949-958. DOI:10.1104/pp.124.3.949.
- Barea, J. y Honrubia, M. (2004). La micorrización dirigida de la planta forestal. *Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo. CEAM*. 84-921259-3-4. 215-260.
- Barto, E., Antunes, P., Stinson, K., Koch, A., Klironomos, J. y Cipollini, D. (2011). Differences in arbuscular mycorrhizal fungal communities associated with sugar maple seedlings in and outside of invaded garlic mustard forest patches. *Biological Invasions*, 13(12), 2755-2762.
- Belezaca, C., Calle, D., Prieto, O., López, R., Solano, E. y Meza, F. (2019). Hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a plantaciones de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. (Balsa) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología*, 12(1), 57-63. DOI:10.18779/cyt.v12i1.238.
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R. y Bianciotto, V. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. *Frontiers in microbiology*, 6, 1559. DOI:10.3389/fmicb.2015.01559.

- Brundrett, M. (2009). Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil*, 320(1-2), 37-77. DOI: 10.1007/s11104-008-9877-9.
- Cabrales, E., Toro, M. y López, D. 2016. Efecto de micorrizas nativas y fósforo en los rendimientos del maíz en Guárico, Venezuela. *Temas Agrarios*, 21 (2): 21-31.
- Cardona, G., Arcos, A. y Murcia, U. (2005). Abundancia de actinomicetes y micorrizas arbusculares en paisajes fragmentados de la Amazonía colombiana. *Agronomía Colombiana*, 23(2), 317-326.
- Cavagnaro, T., Bender, S., Asghari, H. y van der Heijden, M. (2015). The role of arbuscular mycorrhizas in reducing soil nutrient loss. *Trends in Plant Science*, 20(5), 283-290. DOI:10.1016/j.tplants.2015.03.004.
- Consolini, A. E., Baldini, O. A., y Amat, A. G. (1999). Pharmacological basis for the empirical use of *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) as antihypertensive. *Journal of ethnopharmacology*, 66(1), 33-39.
- Coughlan, A., Dalpé, Y., Lapointe, L. y Piché, Y. (2000). Soil pH-induced changes in root colonization, diversity, and reproduction of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi from healthy and declining maple forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(10), 1543-1554.
- Cuervo, J y Rivas P. (2007). Quantification of Mycorrhizal Fungi in Ground Samples in Plantations of *Tabebuia rosea* and *Cordia alliodora*. *Nova*, 5(7), 38-41. DOI: 10.22490/24629448.371.
- Daniels, B. y Trappe, J. (1980). Factors affecting spore germination of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia*, 72(3), 457-471. DOI:10.1080/00275514.1980.12021207.
- Davison, J., Moora, M., Semchenko, M., Adenan, S., Ahmed, T., Akhmetzhanova, A. y Öpik, M. (2021). Temperature and pH define the realized niche space of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*. DOI: 10.1111/nph.17240.

- Du Jardin, P. (2015). Bioestimulantes vegetais: definição, conceito, principais categorias e regulação. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. DOI:10.1016/j.scienta.2015.09.021.
- Gederman, J. y Nicholson, T. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(1), 235-244.
- González, E., García, C. y Correa, J. (2005). Especies forestales del bosque seco Cerro Negro-Cazaderos Zapotillo-Puyango. Loja, Ecuador. *Fundación Ecológica Arcoíris*, pág. 39.
- Guzmán, S. y Farías, J. (2005). Biología y regulación molecular de la micorriza arbuscular. *Avances en investigación agropecuaria*. México, 9(2), 17-31.
- Helgason, T. y Fitter, A. (2009). Natural selection and the evolutionary ecology of the arbuscular mycorrhizal fungi (Phylum Glomeromycota). *Journal of experimental botany*, 60(9), 2465-2480. DOI:10.1093/jxb/erp144.
- Hernández, Á. y Monroy, M. (2019). Caracterización de hongos micorrícicos arbusculares asociados a tres clones de *Theobroma cacao* L. (Cacao) en el yopal (casanare), Colombia (Doctoral dissertation). 72 p.
- Herrera, R. y Ferrer R. (1980). Vesicular-arbuscular mycorrhiza in Cuba. En Mikola P (Ed.) *Tropical Mycorrhizal Research*. Clarendon Press. Oxford, RU. pp. 156-162.
- Howeler, R., Sieverding, E. y Saif, S. (1987). Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. *Plant and Soil Interfaces and Interactions* (pp. 249-283). Springer, Dordrecht.
- Hoysted, G., Kowal, J., Jacob, A., Rimington, W., Duckett, G., Pressel, S. y Bidartondo, M. (2018). A mycorrhizal revolution. *Current opinion in plant biology*, 44, 1-6. DOI:10.1016/j.pbi.2017.12.004.
- INAMHI. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2013). Anuarios Hidrológicos. Quito, Ec.

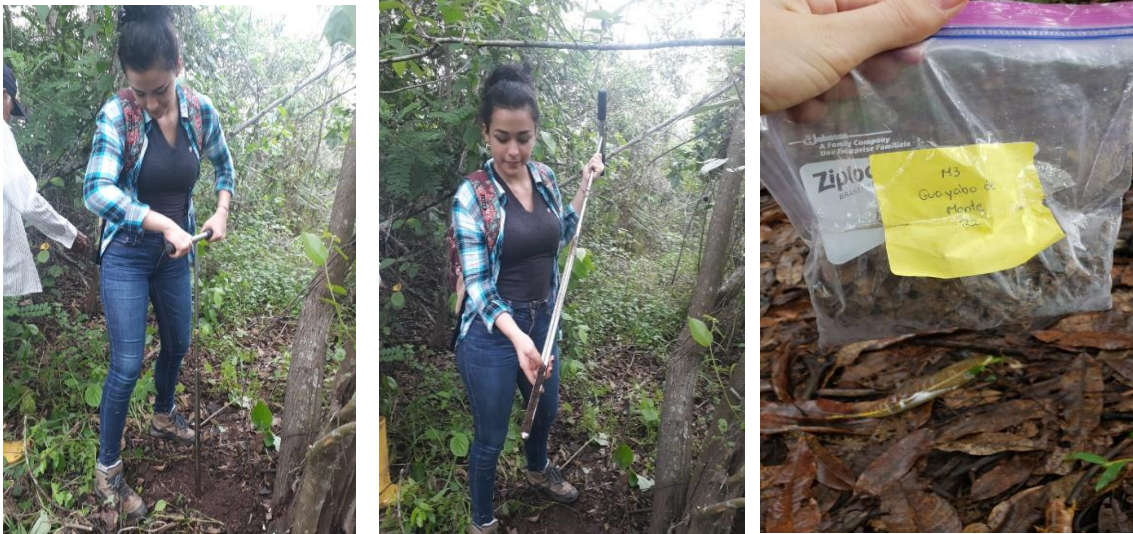
- INVAM (International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi). (2016). Disponible en: <http://invam.wvu.edu>.
- Jaimez, R. (1997). Aportes de macronutrientes en agrosistemas de *Theobroma cacao* L. (Cacao) con frutales en la región de Tucaní. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Centro de Estudios de Forestal. Mérida, Venezuela. 103 p.
- Jorgensen P. y S. León-Yáñez. 1999. Catalogue of the vascular plants of Ecuador. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden. The University Press of Chicago, United States of America, 75: 1-1181.
- Juniper, S. y Abbott, L. (2006). Soil salinity delays germination and limits growth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 16(5), 371-379. DOI: 10.1007/s00572-006-0046-9.
- Menge, J. (1983). Utilization of vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. *Canadian Journal of Botany*, 61(3), 1015-1024. DOI: 10.1139/b83-109.
- Meza, F., Díaz, E., Escobar, H., Belezaca, C., Cachipuendo, J., Meza, G. y Cabrera, R. (2017). Identificación de Hongos Micorrízicos en Plantaciones de *Gmelina arborea* Roxb. (Melina) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 28(4), 969-975. DOI: 10.15381/rivep.v28i4.13883.
- Ministerio de Agricultura del Perú. (2002). Manual divulgativo de las especies forestales de la reserva de biosfera del noroeste peruano. *INRENA*. Tumbes, Perú. 90 p.
- Mirzaei, J. y Moradi, M. (2017). Relationships between flora biodiversity, soil physiochemical properties, and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) diversity in a semi-arid forest. *Plant Ecology and Evolution*, 150(2), 151-159. DOI: 10.5091/plecevo.2017.1249.
- Peña, C., Cardona, G., Mazorra, A., Arguellez, J., y Arcos, A. (2006). Micorrizas arbusculares de la Amazonía colombiana. *Catálogo Ilustrado. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI*. Colombia, 90.

- Peñaloza, D. (2019). Aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en la producción de plantas de selva baja caducifolia con fines de reforestación. Cuernavaca, Morelos. 89 p.
- Pérez J. y Negreros, P. (2011). Los hongos micorrízicos arbusculares y su implicación en la producción y manejo de especies neotropicales forestales, con énfasis en meliáceas. *Interciencia*. Venezuela, 36(8), 564-569.
- Pérez, A. y Peroza, V. (2013). Micorrizas arbusculares asociadas al pasto angleton (*Dichanthium aristatum Benth*) en fincas ganaderas del municipio de Tolú, Sucre-Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 18(1), 3362-3369.
- Posada, R., Sánchez, M., Heredia, G. y Sieverding, E. (2018). Effects of soil physical and chemical parameters, and farm management practices on arbuscular mycorrhizal fungi communities and diversities in coffee plantations in Colombia and Mexico. *Agroforestry Systems*, 92(2), 555-574. DOI: 10.1007/s10457-016-0030-0.
- Powell, J. y Rillig, M. (2018). Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. Berlin, Germany. *New Phytologist*, 220 (4), 1059-1075. DOI:10.1111/nph.15119.
- Redecker, D., Schüßler, A., Stockinger, H., Stürmer, S. Morton, J. y Walker, C. (2013). An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*, 23(7), 515-531. DOI: 10.1007/s00572-013-0486-y.
- Revilla J. (2002). Useful Plants of the Amazon basin. *Inpa*, Rio de Janeiro, Brazil. 44 p.
- Rodríguez, V., Soto, A., Pérez, J., Franco, A. y Díaz, P. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of seedlings and mature trees of *Swietenia macrophylla* (Magnoliophyta: Meliaceae) in Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico. *Revista chilena de historia natural*, 87(1), 1-10.
- Ruiz, P., Rojas, K., y Sieverding, E. (2011). La distribución geográfica de los hongos de micorriza arbuscular: una prioridad de investigación en la Amazonía peruana. *Espacio y Desarrollo*, (23), 47-63.

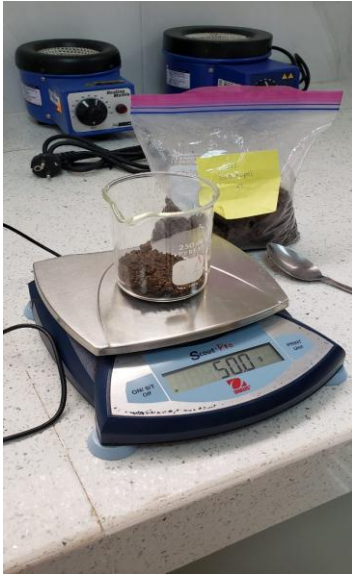
- Sanders, I. (2004). Plant and arbuscular mycorrhizal fungal diversity—are we looking at the relevant levels of diversity and are we using the right techniques?. *New Phytologist*, 164(3), 415-418. DOI:10.1111/j.1469-8137.2004.01208.x.
- Serralde, A. y Ramírez, M. (2004). Análisis de poblaciones de micorrizas en *Zea mays* (Maíz) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 31-40. DOI: 10.21930/rcta.vol5_num1_art:22.
- Steubing, L., Godoy, R. y Alberdi, M. (2001). *Métodos de ecología vegetal*. Santiago de Chile, CH. Editorial universitaria. 34 p.
- Zangaro, W., Rostirola, L., de Souza, P., de Alves, R., Lescano, L., Rondina, A. y Carrenho, R. (2013). Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. *Mycorrhiza*, 23(3), 221-233. DOI: 10.1007/s00572-012-0464-9.

CAPÍTULO VII
ANEXOS

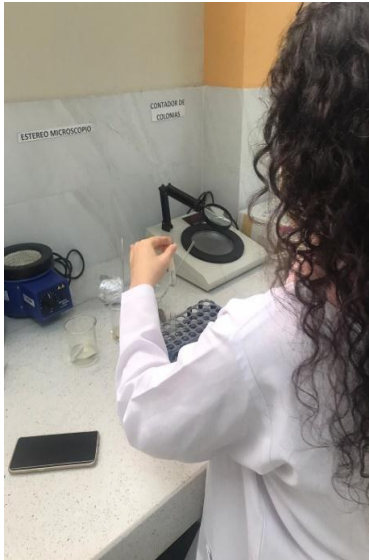
Anexo 1. Recolección de muestras de suelo, para el aislamiento, conteo e identificación de HMA y medición de pH en *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata*, en el bosque secundario “Noé Morán” ubicado en el humedal Abras de Mantequilla, Cantón Vinces, Provincia de Los Ríos.



Recolección de las muestras de suelo de las especies forestales *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.



Proceso de medición de pH en muestras de suelo de las especies forestales, *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.





Aislamiento, conteo e identificación de esporas de HMA en especies forestales, *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.



Acaulospora kentinesis



Glomus multicaule



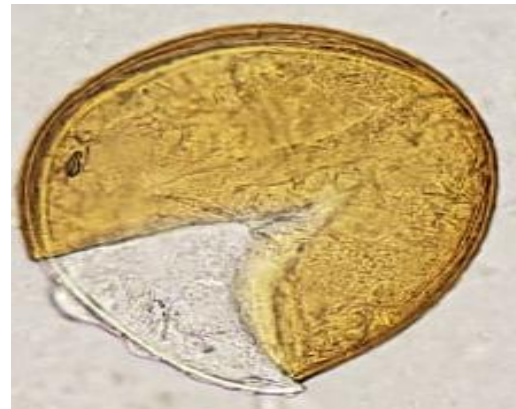
Gigaspora gigantea



Cloideoglopus etunicatum



Paraglopus oculum



Acaulospora rehmi

Especies de HMA que fueron identificadas en las muestras de suelo en *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.

Anexo 2. Valores obtenidos de HMA en la identificación de cada muestra de suelo en *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.

MUESTRAS												
ESPECIES	<i>G.</i> <i>ulmifolia</i>	<i>G.</i> <i>ulmifolia</i>	<i>G.</i> <i>ulmifolia</i>	<i>A.</i> <i>guachapele</i>	<i>A.</i> <i>guachapele</i>	<i>A.</i> <i>guachapele</i>	<i>E.</i> <i>pustulescens</i>	<i>E.</i> <i>pustulescens</i>	<i>E.</i> <i>pustulescens</i>	<i>C.</i> <i>peltata</i>	<i>C.</i> <i>peltata</i>	<i>C.</i> <i>peltata</i>
Acaul	0	0	0	0	0	3	3	7	1	0	0	0
Acol	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
Aeleg	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Arehm	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Akent	5	6	14	0	2	4	0	0	0	16	4	7
Akosk	0	0	0	5	0	0	0	2	0	3	0	3
Amell	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Artra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Cetun	0	0	0	5	2	5	0	0	4	0	3	2
Dhete	0	0	8	0	0	0	0	11	0	3	0	0
Fmoss	0	0	8	0	0	0	2	0	3	0	0	0
Gigal	4	0	0	2	0	4	0	0	0	1	0	0
Gmarg	0	4	3	0	0	0	1	5	0	0	0	0
Gigan	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Glo1	0	4	10	4	3	10	1	10	0	2	7	3
Glo2	0	0	8	3	2	0	3	0	0	4	0	1
Glo3	4	0	0	14	0	0	0	10	0	0	6	0

Gmult	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	0
Poccu	0	0	0	0	0	0	2	9	0	0	0	0
Rclar	0	5	0	2	0	2	0	0	8	0	0	0
Rintr	0	0	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0
Scut1	0	4	5	0	5	0	1	0	2	0	2	2

Anexo 3. Valores obtenidos de los parámetros físicos y químicos por cada muestra de suelo en *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.

MUESTRAS	Repetición	Parámetros físicos			Parámetros químicos												
		Arena	Limo	Arcilla	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
<i>G. ulmifolia</i>	R1	315	74	147	5,73	21	7	55	1	2	5	9	0,8	9	0,28	11,3	0,19
<i>G. ulmifolia</i>	R2	284	54	169	6,41	26	6	57	2	1	6	7	0,5	11	0,24	10	0,28
<i>G. ulmifolia</i>	R3	197	59	154	6,08	24	4	59	1	1	7	8	0,6	8	0,36	11,5	0,33
<i>A. guachapele</i>	R1	264	68	185	5,87	23	8	61	1	2	4	8	0,7	6	0,38	9,6	0,16
<i>A. guachapele</i>	R2	255	65	194	5,41	22	6	68	1	2	8	7	0,4	8	0,25	8,7	0,18
<i>A. guachapele</i>	R3	365	79	122	5,11	24	8	34	2	1	6	7	0,4	9	0,37	8,6	0,19
<i>E. pustulescens</i>	R1	333	101	95	5,51	26	8	32	3	1	7	7	0,3	10	0,29	9,7	0,27
<i>E. pustulescens</i>	R2	247	84	97	6,39	25	8	28	1	1	7	6	0,3	11	0,38	8,5	0,34
<i>E. pustulescens</i>	R3	196	55	84	5,52	22	4	66	1	2	6	6	0,6	12	0,5	4,6	0,26
<i>C. peltata</i>	R1	158	62	89	5,36	20	5	62	1	2	4	8	0,8	7	0,34	3,5	0,28
<i>C. peltata</i>	R2	226	67	95	6,23	28	7	69	2	2	8	5	0,7	6	0,51	2,9	0,24
<i>C. peltata</i>	R3	251	36	99	5,11	24	6	59	2	1	7	9	0,5	8	0,54	3,4	0,13

Anexo 4. Conteo de HMA vivas/muertas en las muestras de suelo en *Guazuma ulmifolia*, *Albizia guachapele*, *Eugenia pustulescens* y *Cecropia peltata* en el bosque secundario “Noé Morán”.

ESPECIE	#Muestras	#Repeticiones	HMA vivas/muertas
<i>Guazuma ulmifolia</i>	M1	R1	5
		R2	11
		R3	40
	M2	R1	16
		R2	12
		R3	36
	M3	R1	10
		R2	19
		R3	25
<i>Albizia guachapele</i>	M1	R1	26
		R2	21
		R3	26
	M2	R1	6
		R2	8
		R3	11
	M3	R1	18
		R2	14
		R3	21
<i>Eugenia pustulescens</i>	M1	R1	12
		R2	7
		R3	20
	M2	R1	25
		R2	24
		R3	41
	M3	R1	14
		R2	10
		R3	9
<i>Cecropia peltata</i>	M1	R1	8
		R2	13
		R3	28
	M2	R1	9
		R2	16
		R3	32
	M3	R1	8
		R2	8
		R3	11

Anexo 5. Abreviaturas utilizadas en el proceso de laboratorio para las especies de HMA con su respectivo significado.

Abreviatura	Significado
Acau1	<i>Acaulospora sp1</i>
Acol	<i>Acaulospora colombiana</i>
Aeleg	<i>Acaulospora elegans</i>
Arehm	<i>Acaulospora rehmii</i>
Akent	<i>Acaulospora kentinensis</i>
Akosk	<i>Acaulospora koskei</i>
Amell	<i>Acaulospora mellea</i>
Artra	<i>Archaeospora trappei</i>
Cetun	<i>Claroideoglomerus etunicatum</i>
Dhete	<i>Dentiscutata heterogama</i>
Giga1	<i>Gigaspora sp1</i>
Gigan	<i>Gigaspora gigantea</i>
Gmarg	<i>Gigaspora margarita</i>
Scut1	<i>Scutellospora sp1</i>
Fmoss	<i>Funneliformis mosseae</i>
Glo1	<i>Glomus sp1</i>
Glo2	<i>Glomus sp2</i>
Glo3	<i>Glomus sp3</i>
Gmult	<i>Glomus multicaule</i>
Rclar	<i>Rhizophagus clarus</i>
Rintr	<i>Rhizophagus intraradices</i>
Poccu	<i>Paraglomerus occultum</i>