



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

EVALUACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES ASOCIADAS A TRES
ESPECIES FRUTALES EN LA HACIENDA AGUA FRIA, MUNICIPIO
ARISMENDI, ESTADO SUCRE, VENEZUELA
(Modalidad: Tesis de Grado)

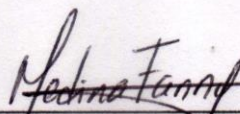
MARTGLORIS JHOANNYS LUGO LÁREZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

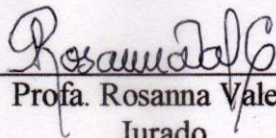
CUMANÁ, 2021

EVALUACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES ASOCIADAS A TRES
ESPECIES FRUTALES EN LA HACIENDA AGUA FRIA, MUNICIPIO
ARISMENDI, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

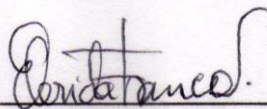
APROBADO POR:



Prof. Fanny Medina
Asesora



Prof. Rosanna Valerio
Jurado



Prof. Elérida Franco
Jurado

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| DEDICATORIA | I |
| AGRADECIMIENTOS | II |
| LISTA DE TABLAS | III |
| LISTA DE FIGURAS..... | IV |
| RESUMEN | V |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| METODOLOGÍA | 6 |
| Ubicación del ensayo..... | 6 |
| Obtención de las muestras | 6 |
| Análisis del suelo..... | 6 |
| Porcentaje de infección micorrízica | 7 |
| Aislamiento y cuantificación de esporas de hongos micorrízicos..... | 8 |
| Separación en morfotipos de esporas de los hongos micorrízicos | 9 |
| Análisis estadísticos | 9 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 10 |
| Análisis fisicoquímico de los suelos | 10 |
| Porcentaje de infección micorrízica | 14 |
| Cuantificación de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares | 21 |
| Riqueza morfotípica de esporas de HMA presentes en la rizosfera de <i>Teobroma cacao</i> , <i>Spondias mombin</i> y <i>Mangifera indica</i> | 24 |
| CONCLUSIONES..... | 42 |
| RECOMENDACIONES..... | 43 |
| BIBLIOGRAFÍA | 44 |
| APÉNDICES | 54 |
| ANEXOS | 57 |
| HOJA DE METADATOS | 59 |

DEDICATORIA

Con todo mi amor a:

Mis padres Gloris Lárez y Juan Lugo, que siempre estuvieron a mi lado, brindándome su apoyo incondicionalmente, creyendo en mí y siendo siempre un ejemplo de superación, humildad y sacrificios. Ustedes son la motivación y los pilares fundamentales en mi vida, mi orgullo. Sin ustedes no hubiese podido lograrlo.

Mis sobrinos Karla, Maikol y Jhonny Lugo, que aún tienen un largo camino por recorrer, los amo, y espero que este logro sea un ejemplo para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a Santa Marta por darme la fortaleza y sabiduría para seguir adelante y así culminar mis estudios.

A mis padres, Gloris Lárez y Juan Lugo, por siempre estar allí dándome esas palabras de aliento que tanto me ayudaron a mantenerme firme en todo momento. Por confiar en mí y nunca dudar.

A mis hermanos, Carlos y Juan José Lugo y familiares, especialmente a mis tías, Miguelina Lárez, Elena y Aidee Zabala gracias por el estímulo para superarme día a día.

A David Díaz gracias por querer lo mejor para mí, haber creído en mí, alentarme y ayudarme a continuar.

A mi asesora, la Profa. Fanny Medina, siempre estaré agradecida con usted, por brindarme su ayuda incondicional y confiar en mí para la realización de este trabajo de investigación. Gracias por su dedicación, apoyo, disposición, motivación, cariño y paciencia.

A Calixto López, el dueño de la hacienda “Agua Fría”, por permitirnos la recolección de las muestras. Gracias por su gran disposición y colaboración.

Al Dr. Iván Maza, jefe de Laboratorio de Suelos, Agua, Planta y Ecomateriales de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas por su ayuda en la elaboración de los análisis de suelos.

Al Ing. Agrónomo Edgar Ramón Ortiz y a la Profa. Rita Tenia por su apoyo en la realización de esta investigación.

A mis amigos y compañeros de clases, especialmente a Ana Milano, Ángel Cova, Rauxelis Rodríguez y Ana Sisco; gracias por su amistad, compañía y ayuda para cumplir con esta meta.

A Francelis Rodríguez por su valiosa amistad y por abrirme las puertas de su hogar y familia.

A todas aquellas personas que de una u otra forma me apoyaron para alcanzar este objetivo, una vez más ¡GRACIAS A TODOS! ¡GRACIAS POR TANTO!

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Análisis fisicoquímico del suelo de la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela..... | 10 |
| Tabla 2. Número de morfotipos (MT) totales de esporas de HMA asociados a la rizosfera de <i>Theobroma cacao</i> , <i>Spondias mombin</i> y <i>Mangifera indica</i> cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela..... | 25 |
| Tabla 3. Descripción de las esporas aisladas en la rizosfera de <i>Theobroma cacao</i> , <i>Spondias mombin</i> y <i>Mangifera indica</i> cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela | 29 |
| Tabla 4. Morfotipos (MT) de HMA presentes en la rizosfera de <i>Theobroma cacao</i> , <i>Spondias mombin</i> y <i>Mangifera indica</i> cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. | 37 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Frecuencia de micorrización (%F) del sistema radical de *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. 15
- Figura 2. Riqueza arbuscular (%A) del sistema radical de *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela..... 19
- Figura 3. Número de esporas totales en 100 g de suelo asociado a la rizosfera de *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. 22
- Figura 4. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Theobroma cacao* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. 26
- Figura 5. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Theobroma cacao* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. 27
- Figura 6. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Theobroma cacao* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. 28
- Figura 7. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Spondias mombin* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. 34
- Figura 8. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. 35
- Figura 9. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. 36
- Figura 10. Morfotipos (MT) de HMA que colonizan simultáneamente el sistema radical de *Theobroma cacao* y *Spondias mombin*, cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. 38
- Figura 11. Morfotipos (MT) de HMA que colonizan simultáneamente el sistema radical de *Theobroma cacao* y *Mangifera indica*, cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela 39

RESUMEN

Se evaluó la compatibilidad de la interacción HMA-planta hospedera mediante la determinación de la frecuencia de micorrización (%F) y riqueza arbuscular (%A) del sistema radical de la planta, el conteo del número total de esporas en 100 g de suelo y la descripción de los morfotipos de HMA asociados a la rizosfera de tres especies frutales (*Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica*) cultivadas en la hacienda “Agua Fría”. La %F y %A en cada especie vegetal se determinó mediante el método de Trouvelot. Para la extracción de esporas se siguió el método del tamizado húmedo propuesto por Gerdemann y Nicolson y para su identificación, las esporas intactas y saludables se agruparon morfológicamente de acuerdo a su color, forma, tamaño, pared interna, etc. Los resultados muestran que las especies presentaron diferencias estadísticamente no significativas en la %F y %A. Sin embargo, en cuanto al número de esporas se observaron diferencias significativas, siendo las muestras de las rizosferas de mango y jobito donde se contabilizaron los mayores valores de esporas de HMA en 100 g de suelo. Se identificaron 46 morfotipos de HMA asociados a las rizosferas de los frutales estudiados, siendo menor la diversidad morfológica de los hongos asociados a las especies pertenecientes a la familia Anacardiaceae en comparación con la especie *T. cacao*, donde se contabilizó un total de 28 morfotipos. Estos resultados, reflejan la existencia de una gran diversidad de HMA en la zona de estudio, los cuales generalmente establecen especificidad en la interacción hongo-planta hospedera. Adicionalmente, permiten inferir que aunque la colonización del sistema radical sea efectiva, ésta no garantiza que la simbiosis mutualista sea exitosa, debido a que la baja formación o inactivación de los arbusculos, afecta significativamente el intercambio bilateral de nutrientes entre estos microorganismos y las células corticales. Por lo tanto, es necesario continuar estudiando las poblaciones nativas de HMA, ya que su utilización como biofertilizantes contribuye a garantizar el establecimiento exitoso de las especies vegetales, reduciendo o evitando en gran medida la utilización de productos químicos, que producen consecuencias negativas para el ambiente, la salud y economía de los agricultores y/o consumidores.

Palabras clave: esporas, colonización, simbiosis, arbusculos, especificidad, cacao, jobito, mango.

INTRODUCCIÓN

El término micorriza fue propuesto por el patólogo forestal alemán Albert Bernhard Frank en 1885, quien lo empleó para describir la existencia de raíces de plantas vasculares infectadas por hongos (Alvarado *et al.*, 2004). Actualmente, el término se emplea para definir a la asociación simbiótica mutualista entre el sistema radical de las plantas superiores y hongos pertenecientes al phylum Glomeromycota (Ágrios, 2005). Estos hongos dependen de la planta para el suministro de carbono, energía y de un nicho ecológico, a la vez que le entregan nutrientes (especialmente los pocos móviles como fósforo, aunque también pueden movilizar nitrógeno, potasio, calcio, azufre, hierro, manganeso, cobre y zinc) a la planta; además, le imparten otros beneficios como: estimulación de sustancias reguladoras de crecimiento, incremento de la tasa fotosintética, ajustes osmóticos en época de sequía, aumento de la fijación de N por bacterias simbióticas o asociativas, incremento de resistencias a plagas, tolerancia a estrés ambiental, mejoramiento de la agregación de suelo y en la mediación de muchas acciones e interacciones de la microflora y microfauna que ocurren en el suelo, alrededor de las raíces (Bethlenfalvay y Liderman, 1992; Blanco, 1997; Martin y Stutz, 2004; Peterson *et al.*, 2004; Liasu y Ogundola, 2006; Rillig y Mummey, 2006; Yeasmin *et al.*, 2007; Taylor *et al.*, 2008).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) forman arbusculos, vesículas (en algunas especies) e hifas, dentro de las células corticales de las plantas que colonizan (Douds y Millner, 1999). Las hifas se ramifican en el suelo, formando una extensa red capaz de interconectar, subterráneamente, las raíces de plantas de la misma o de diferentes especies. Esta red de micelio permite, bajo ciertas condiciones, un libre flujo de nutrientes hacia las plantas hospederas y entre las raíces de las plantas interconectadas, lo que sugiere que la micorriza establece una gran unión bajo el suelo entre plantas que, a simple vista, podrían parecer lejanas y sin ninguna relación. Así, la micorriza ofrece a la planta hospedera y al ecosistema, diferentes beneficios en términos de sobrevivencia y funcionamiento (Camargo *et al.*, 2012).

El uso de los HMA, como biofertilizantes complementarios o sustitutos

biológicos de los fertilizantes minerales, es una excelente herramienta en la agricultura, ya que las plantas inoculadas incrementan significativamente su desarrollo y crecimiento, aumentan su tolerancia a sequías y resistencia a patógenos, condicionan eficientemente el establecimiento de las comunidades vegetales en suelos pobres en nutrientes y realizan biocontrol de fitopatógenos (Alarcón y Ferrera, 2000; Davies *et al.*, 2000). La inoculación de HMA en plantas que se desean cultivar en el campo, debe ser realizada en plántulas bajo condiciones de invernadero, viveros hortícolas, frutícolas, entre otros, para asegurar su éxito de inoculación y evitar la competencia o infección con los microorganismos naturales del suelo (Thompson, 1991).

Actualmente, se ha estimado que los HMA pueden formar asociaciones simbióticas con las raíces del 90-95% de las plantas terrestres de todo el mundo (Zhang *et al.*, 2010; Jácome, 2017; Sánchez *et al.*, 2018). Virtualmente, cualquier HMA puede asociarse a cualquier planta vascular (Allen *et al.*, 1995). Sin embargo, generalmente en las familias Brassicaceae (*Arabidopsis*, *Brassica*, *Cardamina*) y Chenopodiaceae (remolacha y espinaca), se reporta la ausencia o serios conflictos en el establecimiento de las asociaciones micorrízicas, debido a la existencia de ciertos factores químicos que pueden estar implicados en la reducción de la infección, ya que intervienen en el proceso de reconocimiento entre la hifa del hongo y las raíces de la planta hospedera (André *et al.*, 2005).

Los HMA están presentes en muchos suelos y en general no se consideran huéspedes específicos. Sin embargo, los niveles de abundancia y composición de las especies son variables, dependiendo de la planta y factores como: temperatura, aireación, contenido de arcilla, materia orgánica, pH, humedad del suelo, niveles de fósforo y nitrógeno, concentración de metales, presencia de otros grupos de microorganismos, aplicación de fertilizantes y plaguicidas, además de la salinidad de los suelos (Sieverding, 1991; Tena, 2002; Jaramillo *et al.*, 2004; Castillo *et al.*, 2009). Se ha demostrado en estudios como los realizados por Daniels y Trappe (1980) y Porter *et al.* (1987), que las especies y la población de HMA difieren de acuerdo a los rangos de tolerancia a las propiedades fisicoquímicas de los suelos que invaden, por lo tanto, difieren de su efectividad en el aumento del crecimiento de las plantas en suelos

particulares. Salas y Blanco (2000), establecen que es necesario reconocer los sitios donde la inoculación con HMA es benéfica, donde el potencial del inóculo es bajo o donde los hongos son inefectivos, para producir y utilizar inóculos de los hongos más efectivos.

La especie *Theobroma cacao* L., pertenece a la familia Sterculiaceae, es un árbol de tamaño mediano (5-8 m) aunque puede alcanzar alturas de hasta 20 m cuando crece bajo sombra intensa; su copa es densa, redondeada y con un diámetro de 7 a 9 m; tronco recto que puede tomar formas muy variadas, según las condiciones ambientales (Mazariegos, 2009). El cultivo de cacao se puede desarrollar en zonas ubicadas entre 0 y 1 000 m s.n.m. aunque las condiciones óptimas se encuentran a altitudes entre 400 y 800 m s.n.m. con temperaturas medias altas (23-28°C), precipitaciones distribuidas a lo largo del año de 1 500 a 2 500 mm y una humedad relativa entre 70-80% (Jácome, 2017). El árbol de cacao en formación requiere de una luminosidad baja, 30% de luz y 70% de sombra. Por esta razón, generalmente está asociado con cultivos de plátano, café, frutales y maderables, los cuales al tiempo que le proporcionan sombrío, permiten al agricultor compensar el retraso en el inicio de la producción de cacao, puesto que algunos tienen un ciclo productivo más corto y se emplean como sombra temporal, mientras crece el cultivo permanente (García *et al.*, 2005).

Mangifera indica L. (mango) es el frutal más importante de las anacardiáceas y cuya producción mundial sólo es superada por la naranja, manzana, plátano y uva. El cultivo del mango se realiza, en la mayoría de las ocasiones, con desconocimiento de las necesidades nutrimentales, lo que ha derivado en un mal empleo de fertilizantes y agroquímicos, que repercute en los rendimientos del rubro (Adriano *et al.*, 2008). El árbol de mango presenta dos etapas fisiológicas (vegetativa y reproductiva), la primera se caracteriza por el desarrollo vegetativo y acumulación de nutrientes, mientras que la etapa reproductiva se caracteriza por el desarrollo floral y formación de frutos, con la consecuente disminución de la reserva de nutrientes (Adriano *et al.*, 2008).

Spondias mombin L., pertenece a la familia Anacardiaceae, es conocida como jobo, jobito de río o ciruela, es un árbol de tamaño mediano que crece en el Neotrópico, produce una fruta amarilla y agria que es consumida por los humanos y muchos

animales (Arias, 2000). Los frutos se consumen frescos o hervidos y deshidratados, además con la pulpa se pueden preparar bebidas, gelatina y vino. Tolera suelos que tienen una concentración moderadamente baja de nutrientes y que son hasta cierto punto compactos, característica que le permite a los ejemplares de esta especie colonizar suelos con diversas texturas, desde arenosos hasta arcillosos; donde varía la capacidad de retención del agua, pudiendo soportar el empantanamiento de los suelos por 2 a 3 meses por año (Arias, 2000).

En el ámbito mundial, se ha comprobado la presencia natural, los beneficios de los HMA y su importancia en el establecimiento de los cultivos de especies frutales (particularmente de *T. cacao* y *M. indica*) donde frecuentemente se compara el crecimiento de plantas micorrizadas con no micorrizadas en condiciones de baja disponibilidad de nutrientes, donde el mejor desarrollo en las plantas micorrizadas se atribuye a una mayor absorción de agua y nutrientes, elevados niveles en la producción de hormonas y contenidos de clorofila (Azcón y Ocampo, 1981; Ballesteros *et al.*, 2004; Cuadros *et al.*, 2011).

Adriano *et al.* (2008) evaluaron la dinámica de los HMA en las diferentes etapas fenológicas de árboles de mango variedad Ataúlfo ubicados en el municipio de Tapachula Chiapas, observando que el porcentaje de colonización de los HMA y su número de esporas se incrementó al pasar de la etapa vegetativa a la reproductiva.

Prieto *et al.* (2012) identificaron los géneros *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus* y *Scutellospora* en cinco sistemas agroforestales (conservados con escaso disturbio del suelo y sin aplicación de pesticidas químicos) asociados con el cultivo de cacao ubicados en cinco fincas de la zona central del trópico húmedo ecuatoriano, específicamente en los cantones Quevedo y Valencia, de la Provincia de Los Ríos, Ecuador durante la época de sequía (junio-diciembre); observando que en todos los sitios muestreados el género con mayor representatividad en cantidad de esporas por gramo de suelo fue *Glomus*.

En Venezuela, se ha estudiado las poblaciones de estos microorganismos y su uso potencial en agroecosistemas. Bolívar *et al.* (2009) evaluaron la importancia ambiental y socioeconómica de las micorrizas en el cultivo de cacao; sus resultados indican que socioeconómicamente, la inoculación micorrízica es la actividad más

importante de forma directa para la siembra de este cultivo ya que representa un sustituto de la fertilización química, cuyas bondades más importantes identificadas fueron: el aporte de fósforo, aumento de la producción y disminución de los efectos producidos por los cambios ambientales y las enfermedades que afectan el cultivo.

El empleo de los HMA en la agricultura es una realidad que ya se lleva a cabo en diversos países, para ello se requiere del establecimiento de programas de investigación que comprendan las etapas de aislamiento, identificación, determinación de su potencial, desarrollo de métodos y técnicas, así como pruebas de campo. El uso de estos hongos, tiene una importancia significativa en los cultivos ya que permite que se incremente la adaptación y desarrollo de las plantas, teniendo en cuenta que a la vez se ahorra el uso de cantidades importantes de fertilizantes químicos que causan contaminación al medio ambiente e igualmente incrementa la absorción de los nutrientes disponibles en el suelo y la resistencia a plagas. La inoculación con una determinada especie de HMA, siempre representa incertidumbre, debido a que a pesar de que todos los HMA tienen la capacidad de otorgar los mismos beneficios a las plantas, se ha demostrado que esta relación puede tener distintos grados de compatibilidad dependiendo de la especie hospedera y de las condiciones ambientales. Por esto, en este trabajo se evaluaron, los HMA asociados a tres especies frutales de importancia económica (*Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica*) en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela, con la finalidad de comprobar la preferencia de la interacción micorriza-planta.

METODOLOGÍA

Ubicación del ensayo

El estudio se realizó en la hacienda “Agua Fría” (10°65’44,02” N y 62°90’05,08” O) ubicada en la carretera hacia la localidad de San Juan de las Galdonas, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela.

Obtención de las muestras

En el área de estudio, se realizó un muestreo en época de sequía (agosto 2019), donde se tomaron nueve muestras de suelo en forma aleatoria con una pala metálica de jardinería, a una profundidad entre 0 y 20 cm en el área de la rizosfera de cada una de las especies frutales evaluadas (*Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica*). Una muestra de suelo por árbol fueron colectadas en forma de zig-zag, aproximadamente a 20 m de distancia entre cada una de ellas.

Posteriormente, estas muestras fueron pasadas por un tamiz de 6 mm de grosor para remover piedras y fragmentos grandes de raíces de las muestras de suelo, luego se colocaron en bolsas plásticas previamente identificadas y se trasladaron al Laboratorio de Microbiología de Suelos (Lab. 520B), del Departamento de Biología de la Universidad de Oriente donde se realizó el aislamiento e identificación de las esporas y la tinción de raíces.

Adicionalmente, se tomaron muestras de 30 cm de largo con estructuras reproductivas de las ramas de cada una de las especies frutales mencionadas, con el objetivo de confirmar la identificación de las especies vegetales. Esta confirmación se realizó con la ayuda del Herbario Isidro Ramón Bermúdez Romero (IRBR) de la Universidad de Oriente, núcleo de Sucre.

Análisis del suelo

Con el fin de determinar las características fisicoquímicas del suelo, se envió una muestra representativa de aproximadamente un kg, previamente secado por irradiación solar, al Laboratorio de Suelos, Agua, Planta y Ecomateriales de la Escuela de Ingeniería

Agronómica de la Universidad de Oriente, núcleo de Monagas, donde se evaluó: textura, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y contenido de P, K y Na asimilable.

La muestra representaba un pool de la rizosfera de las 3 especies frutales evaluadas en este estudio.

Porcentaje de infección micorrízica

Para determinar el porcentaje de colonización de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en los sistemas radicales de las tres especies frutales estudiadas, las raicillas de cada planta se cortaron en segmentos de 2 cm de longitud y se les aplicó el procedimiento de decoloración y tinción de Phillips y Hayman (1970), con modificaciones de Dodd *et al.* (2001), que consistió en: sumergir aproximadamente 2 g de raicillas (previamente colocadas en cápsulas plásticas “tissue teck”) en KOH al 10%, en baño de María a 90°C durante 5 minutos para despigmentar los tejidos corticales. Luego se eliminó el exceso de KOH mediante el lavado con agua destilada y se sumergieron en HCl al 10% durante 10 minutos para neutralizar el KOH. El exceso de HCl se decantó y se colocaron las muestras en tubos de tinción, cubriéndolas luego con lactofenol y colorante de azul de tripano al 0,05% por 24 horas. Posteriormente, se eliminó el exceso de colorante, lavando las muestras con agua destilada, y finalmente fueron colocadas en lactoglicerina, sustancia donde permanecieron hasta el momento de su evaluación.

De cada muestra, se evaluaron por triplicado, 10 segmentos de raíces de aproximadamente 2 cm de longitud, los cuales se colocaron paralelamente en portaobjetos de manera perpendicular al eje más largo, luego se les añadió lactoglicerina y se colocó otro portaobjetos encima a fin de protegerles completamente.

La frecuencia de micorrización (%F) y riqueza de arbusculos (%A) en la corteza radical que representan las variables del porcentaje de infección de los HMA, se evaluaron según el método de Trouvelot *et al.* (1986), el cual consistió en contar los interceptos con y sin evidencias de infección, en un microscopio Motic serie B-1, bajo los objetivos de 10 y 40X (100 y 400X de magnificación). Cada segmento fue

categorizado (dependiendo de la presencia o ausencia del micelio intraradical, Anexo 1) entre las clases 0 (0% infección) hasta 5 (>95% infección). Simultáneamente, la proporción de arbusculos en cada porción infectada fue categorizada entre A0 (0% arbusculos) hasta A3 (100% arbusculos), aplicando las siguientes fórmulas:

$$\text{Frecuencia de micorrización (\%F)} = (n1 + 5 n2 + 30 n3 + 70 n4 + 95 n5) / N$$

$$\text{Riqueza arbuscular total} = A (\%) = a mA / 100$$

$$a (\%) = (10 mA1 + 50 mA2 + 100 mA3) / 100$$

$$mA \text{ o } M (\%) = (n1A + 5 n2A + 30 n3A + 70 n4A + 95 n5A) / 100$$

Donde la frecuencia de micorrización (%F) es simétrica en el rango 5-95%, *N* es el número de fragmentos observados, *A* corresponde al número de fragmentos con arbusculos categorizados, *a* es el porcentaje de arbusculos en la porción de raíz colonizada, *mA* o *M* indica la intensidad de micorrización total (%), *n1* ... *n5* y *n1A* ... *n5A* representan el número de fragmentos pertenecientes a las categorías como 1 ... 5, respectivamente.

Aislamiento y cuantificación de esporas de hongos micorrízicos

Para la extracción de esporas de los hongos micorrízicos arbusculares se siguió el método del tamizado húmedo de Gerdemann y Nicolson (1963) que consistió en lo siguiente: en una balanza analítica se pesaron: 100 g de suelo de cada muestra y se colocó en un beaker de vidrio de 500 mL de capacidad, se mezcló con 300 mL de agua de chorro, se agitó por 20 s. Posteriormente la mezcla fue vertida a través de tamices de 250 µm hasta 35 µm.

Las muestras que quedaron en el tamiz de 35 µm, se colocaron en tubos de centrífuga a los cuales se les añadió 10 mL de sacarosa al 60%, estos fueron colocados

en una centrifuga (Hamilton Bell V 6500) a 3 000 rpm durante 3,5 min, luego el sobrenadante fue vertido sobre el tamiz de 35 μm , donde se lavaron las esporas con abundante agua de chorro. El residuo resultante se colocó en una cápsula de Petri para el posterior conteo de esporas. Las esporas se observaron en un microscopio estereoscópico marca Motic serie B-1 a 60X y la cantidad total de esporas cuantificadas se expresó por 100 g de suelo.

Separación en morfotipos de esporas de los hongos micorrízicos

Las esporas que lucieron intactas y saludables se contaron y separaron en distintos grupos morfológicos de acuerdo a su tamaño, color y forma, utilizando para ello cápsulas de Petri, bajo el microscopio estereoscópico. De cada morfotipo se preparó una lámina permanente utilizando alcohol polivinílico en lactoglicerina (PVLG) como medio de montaje; de acuerdo a la metodología sugerida por Morton *et al.* (1993). Las láminas se observaron bajo un microscopio de luz marca Motic serie B-1 con los objetivos de 10 y 40X de magnificación, el tamaño de cada tipo morfológico se determinó empleando un micrómetro ocular y el color de las esporas siguiendo la carta de colores propuesta por INVAM (1999) (Anexo 2).

Las microfotografías fueron tomadas con la cámara fotográfica marca Olympus.

Análisis estadísticos

Se usó un diseño totalmente al azar, donde se colectaron nueve muestras de suelo de cada una de las tres especies frutales estudiadas, para un total de 27 unidades experimentales. Los resultados fueron analizados estadísticamente con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y para los tratamientos significativos se realizó la prueba *a posteriori* de Duncan, con un nivel de significancia de 0,05, empleando el programa estadístico Statgraphics Centurion.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis fisicoquímico de los suelos

El análisis fisicoquímico del suelo estudiado (Tabla 1) refleja que de forma general, presenta una textura franco arcillo arenoso, con un pH ácido, baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bajos niveles de fósforo asimilable y materia orgánica. Registrándose también muy bajos niveles de conductividad eléctrica (CE), sodio y potasio.

Tabla 1. Análisis fisicoquímico del suelo de la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela.

| Determinaciones analíticas | Unidad | | |
|--|-------------------|------------------------|----|
| Textura | | Franco arcillo arenoso | |
| pH | | 5,44 | |
| Materia orgánica (MO) | % | 1,16 | B |
| Conductividad eléctrica (CE) | dS/m a 25°C | 0,09 | MB |
| Capacidad de intercambio catiónico (CIC) | meq/100g de suelo | 12,20 | B |
| Fósforo asimilable | mg/kg | 6,30 | B |
| Sodio (Na ⁺) | meq/100g de suelo | 0,02 | MB |
| Potasio (K ⁺) | meq/100g de suelo | 0,01 | MB |

N: normal, B: bajo y MB: muy bajo.

La textura del suelo tiene especial significado en: aireación, movimiento del agua, retención de humedad, retención y liberación de iones, disponibilidad de nutrientes y con ellos en su productividad, erodabilidad, uso y manejo (Lacasta *et al.*, 2005). La textura franco arcillo arenosa presenta porcentajes de arcilla de 20 a 35%, limo <28% y arena ≥45%.

El suelo estudiado comparte características con los suelos arenosos y arcillosos. Los suelos arenosos, contienen mayor proporción de arena, retienen poca agua y por lo tanto, se secan rápidamente y se disgregan fácilmente, son suelos con buena porosidad y drenaje, las raíces de las plantas pueden penetrar con facilidad, pero estas no encuentran los nutrientes suficientes, ya que estos suelos, por lo general se caracterizan por tener

niveles bajos de nutrientes, lo que obliga al agricultor a aplicar fertilizantes a los cultivos, además de incorporar materia orgánica al suelo; mientras que los suelos que presentan mayor cantidad de arcilla, poseen poco espacio entre las partículas, lo que provoca que el agua, aire y las raíces penetren con dificultad este tipo de terreno, los cuales han sido clasificados como pesados, ya que son difíciles de manejar. Sin embargo, estos suelen ser ricos en nutrientes, y poseer una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Castillo, 1987).

Navarro y Navarro (2003) consideran que los suelos francos (cualquiera de sus numerosas subdivisiones) son de textura ideal para los cultivos, porque tiene una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla. Por lo tanto, son los más importantes desde el punto de vista agrícola, ya que se trata de suelos fácilmente laborables, porque son ligeros, facilitan una menor retención de agua y la aparición de un mayor espacio poroso que permite su buena aireación y drenaje, lo que aumenta la absorción del agua disponible por el sistema radical de las plantas.

El suelo presenta un pH de 5,44 que lo clasifica como medianamente ácido. El pH óptimo para la mayoría de los cultivos debería estar entre 6 y 7, aunque muchos cultivos de origen tropical pueden crecer bien con un pH de 5,5 a 6 (Garrido, 1994). Un suelo muy ácido posee normalmente una mala estructura que limita la circulación del aire y agua e impide una buena penetración de las raíces. Además se ve reducida la asimilación de ciertos elementos y aumenta la toxicidad de otros (Yañes, 1970).

El valor de pH del suelo estudiado, es el causante de que se observen valores bajos de fósforo asimilable. La asimilación de este elemento en los suelos ácidos disminuye por formarse combinaciones insolubles con hierro y aluminio (Yañes, 1970). El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas; debido a que constituye un componente primario de los sistemas responsables de la capacitación, almacenamiento y transferencia de energía, además de ser un componente básico en las estructuras de macromoléculas de interés crucial, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir, que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos (Fernández, 2007).

La materia orgánica (MO) desempeña un importante papel en los suelos

agrícolas, su participación en casi todos los procesos del suelo, lo constituye un factor determinante de la calidad, fertilidad y salud de los suelos. Actúa como fuente de nutrientes para las plantas y de energía para los microorganismos, a través de funciones de tipo biológico, químico y físico, entre las que destacan el cambio iónico, oxidación-reducción, capacidad tampón, complejación de metales y adsorción de compuestos orgánicos naturales y/o xenobióticos (Sales, 2006).

La presencia de MO en los suelos suele ser escasa y son contadas las excepciones en las que supera el 2% (Navarro *et al.*, 1995), tal como se observa en el análisis fisicoquímico del suelo evaluado en este estudio (1,16%). El nivel deseable de materia orgánica en los suelos arcillosos medios es del 2%, pudiendo descender a 1,65% en suelos pesados y llegar a un 2,5% en los arenosos. Contiene cerca del 5% de N total, pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes (Julca *et al.*, 2006).

Factores como la temperatura pueden provocar porcentajes bajos de materia orgánica en los suelos ya que esta disminuye rápidamente a altas temperaturas, de tal forma que, en los climas calurosos, los suelos suelen tener menos materia orgánica que en los climas más fríos. Generalmente, los suelos de textura fina tienen más materia orgánica que los de textura gruesa lo que permite retener mejor los nutrientes y el agua, por lo que reúnen buenas condiciones para el crecimiento vegetal. Los suelos de textura gruesa se caracterizan por una mejor aireación y presencia de oxígeno que acelera la descomposición de la materia orgánica (González, 2018).

La facilidad con la cual la planta puede aprovechar el agua depende no solamente del contenido de agua en el suelo, sino también de la concentración de sales disueltas en la solución del suelo. La muy baja conductividad eléctrica (0,09 dS/m a 25°C) disminuye la presión osmótica del sustrato; aumentando la disponibilidad de agua.

El valor de la conductividad eléctrica (CE) del suelo indica la concentración de sales que pueden afectar a los cultivos y se correlaciona con algunas propiedades del suelo que afectan la productividad de las cosechas, incluyendo textura, capacidad de intercambio catiónico, condiciones de drenaje, contenido de materia orgánica, salinidad, y características del subsuelo. Los suelos con elevadas conductividades eléctricas

impiden el buen desarrollo de las plantas, ya que contienen asimismo una elevada cantidad de sales (Garrido, 1994; Navarro y Navarro, 2003).

La salinidad suele ser una mayor restricción en la estación seca, cuando la demanda de evaporación es alta. En aquellas zonas donde se produzca un déficit de humedad en el suelo, porque la precipitación es menor que la evapotranspiración, las sales del agua de riego, pasaran al perfil del suelo al secarse este, dando lugar a la precipitación de estas y su acumulación en el perfil. Además, si las escasas precipitaciones no favorecen el lavado, se promoverá su acumulación en las partes altas provocando la salinización de la superficie cultivable; afectando la productividad de los cultivos y la calidad ambiental del ecosistema (Gallart, 2017).

Las arcillas y la materia orgánica del suelo tienen la propiedad de comportarse como iones de carga negativa (aniones), de forma que son capaces de retener o adsorber cationes. Este comportamiento es conocido como la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y es lo que permite, retener los elementos necesarios para nutrir a las plantas, que de otra forma estarían en la solución del suelo fácilmente disponibles para su lavado en profundidad. Así que, cuanto mayor sea esta capacidad, mayor será la fertilidad natural del suelo favoreciendo el estado nutricional del mismo. Sin embargo, en ocasiones puede ser negativa para el estado de salud del terreno, ya que de la misma forma son capaces también de adsorber otros iones tales como residuos de plaguicidas, amoníaco, elementos pesados, entre otros. Por lo tanto, las sedes de intercambio pueden ser ocupadas por compuestos peligrosos para las plantas o los seres vivos (Garrido, 1994).

La baja CIC del suelo estudiado (12,2 meq/100g de suelo) permite inferir que es un suelo poco fértil, por lo que es necesaria la aplicación de fertilizantes para garantizar la nutrición adecuada del rubro que se desea cultivar.

El potasio a diferencia del fósforo se halla en el suelo en cantidades relativamente grandes. La fracción arcillosa es la que presenta un contenido mayor, por lo que los suelos arcillosos y limo-arcillosos son más ricos que los limo-arenosos y arenosos (Navarro y Navarro, 2003). El potasio es absorbido por las raíces bajo la forma de K^+ . El papel del potasio en la planta es variado, debido a su gran movilidad actúa básicamente, neutralizando los ácidos orgánicos resultantes del metabolismo y

asegurando la constancia de la concentración en H^+ de los jugos celulares, también desempeña funciones importantes en la fotosíntesis, en la economía hídrica y como activador enzimático (Navarro y Navarro, 2003; Azcón-Bieto y Talón, 2013). La falta de potasio origina un retraso general en el crecimiento de la planta, que se hace sentir en los órganos de reserva, semillas, frutos o tubérculos (Navarro y Navarro, 2003).

El sodio es absorbido por la planta como catión monovalente (Na^+), su contenido en las plantas puede variar ampliamente dependiendo de la disponibilidad en el suelo y del mecanismo adaptativo de control osmótico de la especie cultivada (Navarro y Navarro, 2003; Azcón-Bieto y Talón, 2013). La contribución del sodio dentro de plantas es dependiente de la especie vegetal en particular; generalmente no cumple funciones tan vitales en las plantas y la absorción de grandes cantidades de Na^+ por las raíces puede crear dificultades para la toma de otros elementos como el potasio o el fósforo (Mengel y Kerkby, 2000).

Porcentaje de infección micorrízica

La infección micorrízica del sistema radical de las plantas, está determinada por dos variables fúngicas: frecuencia de micorrización (%F) y riqueza arbuscular (%A). En la Figura 1 se muestra la %F del sistema radical de las tres especies frutales (*T. cacao*, *S. mombin* y *M. indica*) cultivadas en la hacienda “Agua Fría”. Los resultados obtenidos revelan diferencias estadísticamente no significativas (KW= 1,0; $p>0,05$) y muestran que las tres especies frutales evaluadas presentan un 100% de colonización del sistema radical, lo que indica que son altamente micorrizables. Estos resultados concuerdan con los de Bolívar *et al.* (2009), quienes registraron un 100% de infección en todas las muestras analizadas de *T. cacao* en estado natural. Sin embargo, Cuenca y Meneses (1996), encontraron porcentajes de infección, que oscilaban entre 14 y 69% en 16 plantaciones de cacao del país, atribuyendo los menores porcentajes de colonización al efecto del manejo del sistema de producción, específicamente a la aplicación de fertilizantes fosfatados. Por lo que estos autores señalan que la presencia de micorrizas en todas las muestras evaluadas, a pesar de su bajo porcentaje, demuestra las potencialidades del rubro para asociarse a los HMA.

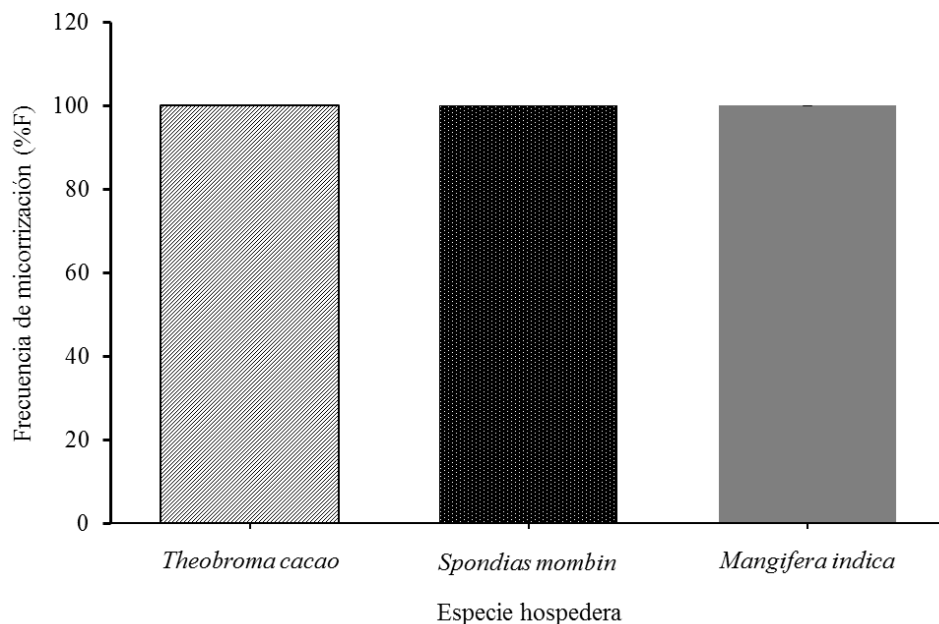


Figura 1. Frecuencia de micorrización (%F) del sistema radical de *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. Los valores son los promedios \pm el error estándar (n=9). La ausencia de letras sobre las barras indican la existencia de diferencias estadísticamente no significativas.

Cortes *et al.* (1996) en su estudio de endomicorrizas vesículo-arbusculares en las raíces de mango en 10 agroecosistemas (Ranchito Las Animas, La Esperanza, Palmas de Abajo, Cosamaloapan, Cuitláhuac, Sihuapan, Jalcomulco, Palo Gacho, Rancho las Maravillas, Tolome) del estado de Veracruz, obtuvieron porcentajes de colonización, que oscilaban entre 38 y 55%. Los autores señalan que las diferencias ambientales entre los agroecosistemas influyeron en el establecimiento y efectividad de la simbiosis micorrízica, debido a que en época de lluvia, cuando los suelos presentaban un pH de 6,80 a 7,19; se registró el mayor porcentaje de colonización (46,8%), el cual se correspondió con un intenso crecimiento vegetativo. Resultados contrarios a los registrados en esta investigación, ya que el sistema radical de *M. indica* muestra un 100% de colonización, a pesar de que el muestreo fue realizado en época de sequía y el suelo presentaba un pH de 5,44.

En las plantas capaces de establecer la simbiosis micorrízica se han observado diferencias en cuanto a su dependencia con la colonización de los HMA. El grado de dependencia micorrízica, según Gerdemann (1975), se define como “el grado en el cual

una planta es dependiente de la condición micorrízica para producir su máximo crecimiento o producción, en una fertilidad dada de suelo”. En los suelos pobres en nutrientes de las zonas tropicales, muchas plantas dependen obligatoriamente o ecológicamente de los HMA (Gemma *et al.*, 2002).

En base al grado de dependencia al establecimiento de los hongos micorrízicos, las especies de frutales se clasifican en: micotróficas obligadas, micotróficas facultativas y no micotróficas. Las primeras son aquellas que requieren obligadamente del establecimiento de estos endófitos, aun cuando se les proporcionen los requerimientos nutrimentales para su desarrollo, como es el caso de los cítricos. En las especies con micotrofismo facultativo, la dependencia a los HMA varía en función de la satisfacción de sus requerimientos nutricionales; si la planta hospedera se encuentra en condiciones limitantes y/o estresantes, entonces requerirá del establecimiento y funcionalidad de la simbiosis micorrízica. Finalmente, existen especies que no requieren del establecimiento de estos hongos (plantas no micotróficas), debido a que su sistema radical está provisto de abundantes pelos radicales que les permiten mayor captación de nutrientes y, por tanto, la funcionalidad de los simbiontes micorrízicos no interviene en la fisiología de la planta (Alarcón y Ferrera, 1999).

Las diferencias entre el grado de micotrofismo de algunas especies dependen en gran medida del tipo y hábito radical. La mayoría de los frutales arbóreos son micotróficos obligados debido a que su sistema radical carece o presenta escasos pelos radicales, por lo que no pueden hacer uso eficiente de los nutrientes del suelo o sustrato, aun cuando éste no presente problemas de disponibilidad (Alarcón y Ferrera, 1999). Por lo tanto, las plantas con raíces gruesas, no ramificadas y con pelos radicales escasos, son más dependientes de la simbiosis micorrízica que aquellas plantas con raíces muy ramificadas y con pelos radicales largos y numerosos (Sieverdind, 1984).

Laycock (1945) y Cuenca y Meneses (1996) reportan a *T. cacao* como una planta altamente micotrófica, debido a que bajo las condiciones en las que usualmente se cultiva el cacao en Venezuela (con tecnología de bajo insumo, en suelos relativamente ricos en nutrientes y donde generalmente no se llevan a cabo labores de fertilización química), esta planta muestra una significativa tendencia a formar simbiosis con los

HMA, lo que se refleja en altos porcentajes de colonización de su sistema radical.

El alto nivel de colonización del sistema radical de las tres especies vegetales evaluadas en esta investigación, permite inferir que *T. cacao*, *S. mombin* y *M. indica* se comportan como plantas frutales micotróficas obligadas o dependientes de los HMA. Los resultados también sugieren que los HMA presentes en el agroecosistema de la hacienda “Agua Fría”, son altamente infectivos, por lo que son capaces de colonizar el 100% del sistema radical de las plantas de cacao, jobito y mango cultivadas.

Aguinaga (2019) indica que la capacidad de los HMA para promover el desarrollo de los cultivos depende de su infectividad y efectividad; definiendo a la infectividad como la capacidad del hongo para penetrar e invadir la raíz intensamente y explorar el suelo, así como su habilidad de persistir en el sistema productivo; mientras que su efectividad se demuestra cuando mejora directa o indirectamente el crecimiento y desarrollo de la planta hospedera. De forma directa cuando incrementan la absorción del agua y nutrientes poco móviles como el fósforo y mejora la absorción de amonio, potasio, zinc, cobre, entre otros; mientras que de manera indirecta el hongo protege al sistema radical de la planta contra el ataque de fitopatógenos y le permite adaptarse a condiciones de estrés, así como también aumenta la agregación del suelo y su estabilidad (Tapia *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2012).

En todo sistema biológico, las interacciones son altamente dependientes de las condiciones en las que ocurren, por lo tanto el establecimiento y eficacia de la simbiosis HMA-planta hospedera dependerán del cultivo, las especies de hongos participantes y las condiciones del medio. La época seca o de lluvias son un factor importante en la población de HMA (Pérez, 2017). Esta simbiosis, también está influenciada por las relaciones de nutrientes orgánicos e inorgánicos, el ciclo del carbono en las plantas, las condiciones edáficas como composición química, humedad, temperatura, pH, capacidad de intercambio catiónico y factores bióticos y abióticos del suelo (Entry *et al.*, 2002).

Los suelos rara vez proporcionan las condiciones ideales para el crecimiento y supervivencia de las plantas y los microorganismos. En algunas épocas del año las condiciones ambientales alteran la temperatura y humedad del suelo, siendo estas algunas de las condiciones que pueden favorecer o inhibir la endosimbiosis (Ortiz *et al.*,

2015). En esta investigación se pudo apreciar que la época de sequía y baja fertilidad natural del sustrato (principalmente bajos niveles de fósforo) son factores que pueden relacionarse con la elevada colonización del sistema radical de las plantas hospedadas, ya que favorecen la capacidad infectiva, efectividad y abundancia de los HMA nativos.

Gavito y Varela (1993) observaron que algunas prácticas agrícolas tradicionales como la rotación de cultivos, cultivos asociados, mulch o coberturas vegetales, abonamiento con residuos orgánicos frescos y/o compostados, reducen la perturbación del suelo, afectando positivamente la presencia y efectividad de la simbiosis; mientras que las prácticas de enclavamiento, labranza, aplicación de biocidas y herbicidas, afectan de forma negativa a los HMA, ya que influyen en la desaparición de algunas especies y predominancia de otras, no siempre las más eficientes (Guerra, 2008; Sánchez *et al.*, 2010). El uso común de pesticidas también puede tener efectos contradictorios, en la acción de los HMA, porque dependiendo del suelo y del cultivo, puede haber un efecto estimulador, depresivo o no significativo sobre el hongo (Khanam *et al.*, 2006). Por lo tanto, la alta micorrización observada en este estudio también puede ser atribuida al manejo agronómico practicado en la hacienda “Agua Fría”, en la cual no se emplean fertilizantes químicos (se aplica fertilización biológica como humus o compost al terreno) y solo se usan bajas cantidades de pesticidas, cuando es requerido.

En la Figura 2 se muestra la %A del sistema radical de las tres especies frutales, observándose que a pesar de que no existen diferencias estadísticamente no significativas (KW= 0,198787; $p>0,05$), los ejemplares de mango presentan un porcentaje más elevado de arbusculos en sus células corticales, en comparación con las muestras evaluadas de jobito y cacao.

Los arbusculos son hifas finamente ramificadas, que se dividen dicotómicamente y son invaginados por la membrana plasmática de las células corticales (Barrer, 2009; Camarena, 2012). Se consideran la estructura central de la simbiosis micorrízica arbuscular, debido a que juegan un papel crucial en las principales funciones de la interacción, como por ejemplo en el mejoramiento de la nutrición de la planta y el biocontrol de patógenos del suelo (Franken *et al.*, 2007).

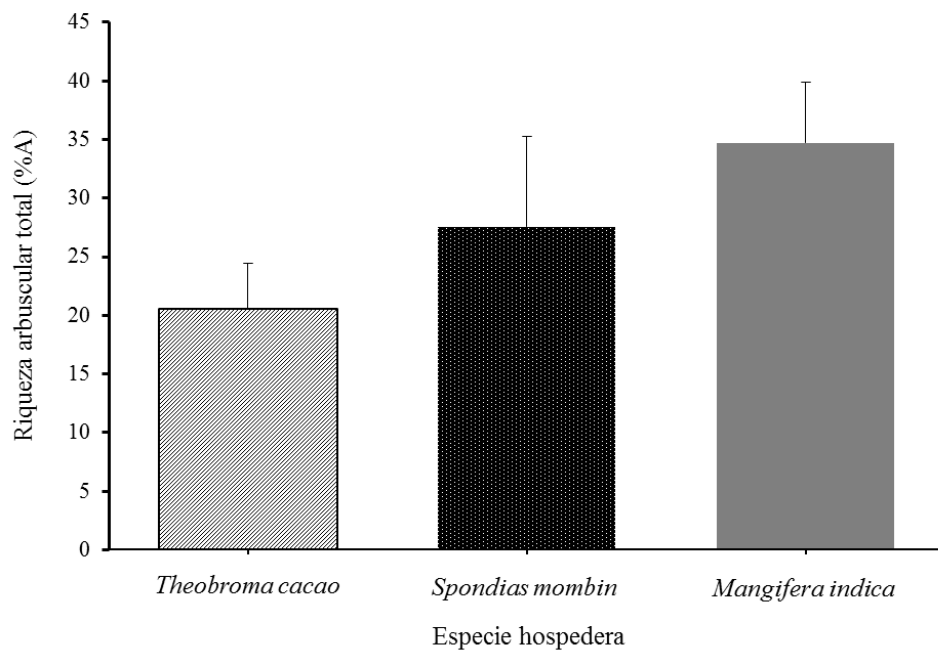


Figura 2. Riqueza arbuscular (%A) del sistema radical de *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendí, estado Sucre, Venezuela. Los valores son los promedios \pm el error estándar (n=9). La ausencia de letras sobre las barras indican la existencia de diferencias estadísticamente no significativas.

León (2006) y Saldaña *et al.* (2014) señalan que la %A se considera un indicador más preciso de la efectividad de la colonización micorrízica, ya que la presencia de arbusculos es un buen indicativo de la actividad metabólica asociada al transporte de sustancias a través de las membranas. Por lo tanto, el mayor número de arbusculos en los ejemplares de mango (variedad dudú), en comparación con los de cacao y jobito, puede estar relacionado con una mayor actividad metabólica de la simbiosis micorrízica en el momento de muestreo, ya que probablemente se estaría presentando un mayor intercambio bilateral de nutrientes a través de los arbusculos existentes en las células corticales.

Los resultados obtenidos en esta investigación también permiten inferir, que la colonización del sistema radical de la planta hospedera no garantiza la efectividad de la simbiosis micorrízica, debido a que a pesar de que las tres especies frutales estudiadas, registran una %F elevada (100% de colonización del sistema radical); la efectividad de esta interacción es baja, porque presentan una riqueza arbuscular menor al 50%.

Los trabajos de Medina (2011) y Marcano (2012) donde estudiaban la efectividad de la interacción de especies de HMA nativos del estado Sucre con diferentes especies hospederas, afirman que aunque la colonización del sistema radical sea efectiva, esta no garantiza que la simbiosis establecida sea considerada como exitosa, debido a que se ha demostrado que la simbiosis constituida por los HMA y la planta huésped presenta una delgada barrera que separa a estos hongos mutualistas de los parásitos, por lo que cuando el suelo presenta elevadas concentraciones de P, los HMA cesan sus actividades y se convierten en parásitos, ya que disminuye el intercambio de nutrientes facilitado por los arbusculos y aumenta la expresión de vesículas, las cuales mediarán la alimentación del hongo, siendo sus sitios de depósito de compuestos carbonados. Sin embargo, este efecto particularmente no fue observado en el terreno estudiado, ya que los valores de fósforo asimilable eran bajos.

Por otro lado, autores como Pérez *et al.* (2016) y Rivera *et al.* (2016), establecen que valores bajos en la presencia de arbusculos (como los registrados en este trabajo), puede deberse a que estas estructuras fúngicas tienen una vida efímera y siempre terminan por ser digeridos por la planta hospedera.

La vida media de un arbusculo en actividad es muy corta y varía entre dos y quince días, al cabo de los cuales se colapsa y permanece rodeado por el plasmalema de la célula vegetal, siendo encapsulado por el material depositado en la zona interfacial proveniente presumiblemente del hospedero (Harley y Smith, 1983). Este continuo proceso de degradación de arbusculos a la vez que se forman otros nuevos es ventajoso para la planta, porque un arbusculo en degradación, lleno de nutrientes puede liberar su contenido a la célula de la raíz de donde puede distribuirse a toda la planta (Aguilera *et al.*, 2007) y al colapsar este deja una célula cortical intacta que es capaz de albergar otro arbusculo (Paszkowski, 2006; Pumplin y Harrison, 2009).

Las condiciones de infectividad y efectividad de los HMA, dependen no solo de los simbiosistas, sino también de las condiciones ambientales ya que estas influyen en la fisiología de las plantas y por lo tanto en la simbiosis micorrízica, por lo que es probable que aunque se observe la colonización, no todas las estructuras fúngicas estén activas (Varela y Estrada-Torres, 1997; Lozano *et al.*, 2015).

En las muestras observadas en este trabajo, se pudo evidenciar la presencia de hifas intraradical y extraradical en las tres especies estudiadas y vesículas en menor proporción principalmente en las raíces evaluadas de *M. indica*. Las vesículas son estructuras formadas en la parte terminal de las hifas de algunos géneros de HMA. Se localizan dentro o entre las células corticales, y se llenan de cuerpos lipídicos, por lo que se consideran reservorios de nutrientes para el hongo, que son consumidos en situaciones de estrés (Bowen, 1987; Aguilera *et al.*, 2007; Arteaga *et al.*, 2020). Esta baja observación de vesículas es normal, ya que estas estructuras no son producidas por todas las especies de HMA, además de que al tratarse de estructuras de reserva, su presencia puede estar sujeta a cambios constantes en el interior de la raíz (Quiñones *et al.*, 2019).

La alta colonización micorrízica no está directamente relacionada con el crecimiento de la planta (Cáceres, 2012). Cada especie de HMA puede generar diferentes respuestas en términos de efectividad e infectividad, en la planta hospedera (Sieverding, 1991; Cáceres, 2012; Kalinhoff, 2012). Para poder aseverar que la simbiosis es efectiva o no, no solo se debe evaluar la riqueza arbuscular si no también las variables de crecimiento y desarrollo de la planta hospedera, ya que una simbiosis exitosa y compatible funcionalmente mejorará la nutrición de la planta, que se reflejaría en un aumento acelerado de su crecimiento, y por consiguiente en un incremento de su biomasa.

Cuantificación de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares

Las esporas son estructuras reproductivas que aseguran la dispersión y permanencia del hongo en el suelo (Rivera *et al.*, 2014). Se forman a partir de una clamidospora o bien a partir de micelio en una raíz previamente infectada (Marcano, 2012). La producción de esporas de estos hongos puede ser individualmente en el suelo, en el interior de las raíces de la planta hospedera, o formando densas masas no estructuradas o bien en esporocarpos en o cerca de la superficie del suelo (Reyes, 2011).

En la Figura 3, se muestra el número de esporas por 100 g de suelo presente en las tres especies frutales estudiadas. Los resultados muestran diferencias

estadísticamente significativas (KW= 0,00521836; $p < 0,05$), donde el menor número de esporas se contabiliza en las muestras de suelo asociadas a la rizosfera de cacao en comparación con los valores registrados por las de jobito y mango. En estas dos últimas especies (*S. mombin* y *M. indica*), pertenecientes a la familia Anacardiaceae, la presencia de un mayor número de esporas puede deberse a una de dos razones; la primera de ellas es que las especies de HMA asociadas a sus rizosferas empleen a las esporas como estrategia de colonización; mientras que la segunda está referida a que las esporas son, en esencia, estructuras de resistencia (con capacidad de dispersión por agua o viento) que garantizan la supervivencia a largo plazo del hongo, por lo que aumentan su número cuando las condiciones ambientales no son óptimas para su germinación y desarrollo (León, 2006).

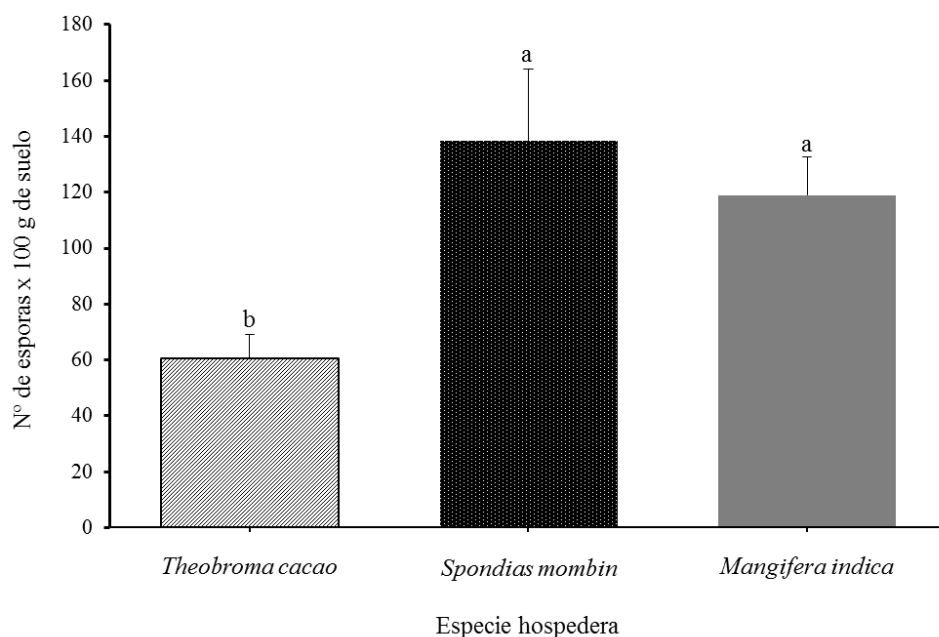


Figura 3. Número de esporas totales en 100 g de suelo asociado a la rizosfera de *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. Los valores son los promedios \pm el error estándar (n=9). Las letras sobre las barras indican la existencia de diferencias significativas.

La estrategia más exitosa desarrollada por los HMA para colonizar nuevos hospederos, consiste en desplegar una red de micelio extraradical compleja que

comunica las diferentes plantas del ecosistema. La colonización tiende a realizarse en primer lugar por la red de micelio ya establecida, y en segundo lugar por la germinación de esporas (Agrios, 2005). La ventaja de establecer la red, es que ésta le permite al hongo permanecer unido a más de un hospedero, aumentando su oportunidad de supervivencia. Si el hongo opta por producir inicialmente esporas, cada propágulo tendrá una oportunidad de encontrar un hospedero, no siendo ésta la estrategia más efectiva (Peña-Venegas *et al.*, 2006). La formación de esporas comienza entre la tercera y cuarta semana después de la colonización de la raíz. Sin embargo, la extensión de la esporulación se puede ver afectada por la planta hospedera, el suelo y las condiciones ambientales (León, 2006).

La época en que se realizó el muestreo (sequía) es otro factor que puede impactar en esta variable, ya que estudios realizados en México y Brasil por Lara (1987) y Souza *et al.* (2003) respectivamente, señalan que la variación de la capacidad de esporulación de los hongos, no solo depende del hospedero al que los HMA se encuentran asociados sino también, esta característica es modificada por la presencia de lluvias o períodos largos de sequía, con esporulación abundante en la época seca. De acuerdo a Barriga *et al.* (2011), existe una mayor esporulación de los HMA durante la época seca, debido a que durante esta época la simbiosis se ve expuesta a un estrés hídrico, lo que hace necesario que exista un mayor número de esporas en el suelo, mientras que para la época de lluvias se puede reiniciar el proceso simbiótico. Por lo tanto, los resultados sugieren que las diferencias en el número de esporas contabilizadas en las especies frutales estudiadas, pueden estar asociadas no solo, con los factores ambientales y edáficos; sino con factores estacionales de la esporulación de estos hongos en relación con la especie vegetal colonizada.

Se debe tener en consideración otros factores que podrían explicar los resultados obtenidos ya que, no todas las especies de HMA, tienen los mismos requerimientos para cumplir con eficiencia su ciclo de vida. Al respecto, Moreira *et al.* (2007), mencionan que factores como temperatura, luminosidad, tipo de suelo, exudados radicales e interacción con otros microorganismos podrían influir sobre las especies de HMA y su esporulación. Mientras que Sieverding (1991), menciona que las características del

terreno suelen ser determinantes en el desarrollo de los HMA. Por ejemplo el pH, la humedad del sustrato y la disponibilidad de nutrientes principalmente del fósforo y nitrógeno influyen tanto en la micorrización en diferentes cultivos como en las variedades de una misma especie vegetal, afectando considerablemente la densidad, distribución y riqueza de especies de HMA en el suelo, originando diferentes respuestas en el crecimiento y desarrollo de la planta hospedera. Estas diferencias pueden ser explicadas aparentemente por la existencia de selectividad ecológica por parte de las especies de HMA presentes en el sustrato (Khanam *et al.*, 2006; Barrer, 2009; Carballar-Hernández *et al.*, 2017; Acosta, 2019).

López y Montalvo (2019) destacan que el nivel de pH puede afectar a la población micorrízica, pero algunas especies de HMA tienen la capacidad de asociarse con plantas acidófilas, adaptándose así al pH del suelo, por lo que el comportamiento de estos hongos frente al pH es muy disperso. Sin embargo, Khakpour y Khara (2012) indican que generalmente el número de esporas tienen una correlación negativa con el pH del sustrato que colonizan. Por otro lado, Tapia (2003) menciona que al incrementar el Na, la conductividad eléctrica del suelo aumenta y modifica los potenciales osmóticos, los cuales pueden incidir tanto en la diversidad como en el número de esporas. Posada *et al.* (2007) demostraron que pequeños incrementos en la conductividad eléctrica del suelo, aumentan la producción de micorrizas arbusculares. Mientras que Khakpour y Khara (2012) muestran resultados opuestos; indicando que a mayor contenido de potasio y conductividad eléctrica la población micorrízica disminuye, pero evidencian un efecto positivo con el porcentaje de limo.

Las respuestas a la micorrización tienden a ser menores en suelos ricos en fósforo, por lo tanto, el contenido de fósforo disponible afecta el número de esporas de HMA, manifestándose una disminución en el número de estas estructuras fúngicas al incrementarse los niveles de P del sustrato (López *et al.*, 2007; Bolívar *et al.*, 2009).

Riqueza morfológica de esporas de HMA presentes en la rizosfera de *Teobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica*

Se registró un total de 46 morfotipos de esporas de HMA asociados a las tres

especies frutales de importancia económica cultivadas en la hacienda “Agua Fría” (Tabla 2). En la rizosfera de *Theobroma cacao* se aislaron 28 morfotipos de HMA. Mientras que en la rizosfera de *Spondias mombin* se aislaron un total de 9 morfotipos y en *Mangifera indica* se pudieron contabilizar 14 morfotipos.

Tabla 2. Número de morfotipos (MT) totales de esporas de HMA asociados a la rizosfera de *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. MT: morfotipo.

| Especie vegetal | MT totales |
|----------------------------------|------------|
| <i>Theobroma cacao</i> | 28 |
| <i>Spondias mombin</i> | 9 |
| <i>Mangifera indica</i> | 14 |
| Total de MT de HMA identificados | 46 |

Los HMA no se consideran huéspedes específicos (Tena, 2002), ya que cualquier planta vascular puede establecer simbiosis con cualquiera de las especies de HMA descritas hasta el presente (Allen *et al.*, 1995). Sin embargo, ciertas actividades realizadas por el hombre, como la erosión o las prácticas agrícolas, pueden dar lugar a suelos carentes o con escasa cantidad de hongos (Villasagua, 2017). Otros factores que pueden inducir una baja diversidad de estos microorganismos son el tipo de suelo, las condiciones climáticas y la composición florística de cada lugar en particular, por lo que, así como estas características varían de lugar a lugar, es de esperarse que la distribución geográfica de las comunidades de HMA también varíe (Ruíz *et al.*, 2011).

La diversidad diferencial de esporas de HMA observadas en esta investigación, podría tener relación con la especie hospedante y a su vez, con los distintos grados de colonización radical de cada especie (Lovera y Cuenca, 2007). Estudios de aislamiento de esporas de HMA en condiciones de laboratorio han demostrado que la simbiosis micorrízica carece de especificidad taxonómica (Smith y Read, 1997; Lovera y Cuenca, 2007; Marcano, 2012). Sin embargo, se ha evidenciado que puede haber cierto grado de especificidad en ecosistemas naturales (Sanders y Fitter, 1992; Marcano, 2012), debido a que estos hongos tienen una gran diversidad fisiológica y probablemente han desarrollado adaptaciones específicas a las condiciones ambientales y edáficas en las que

se desarrollan, por lo que las plantas micorrizadas se benefician en diferente magnitud dependiendo de las especies fúngicas que las colonicen (Smith *et al.*, 2000). Al respecto, Van de Heijden *et al.* (1998) indican que en los ecosistemas naturales se establecen grupos de especies de HMA con funciones específicas, en los cuales la desaparición o extinción de algunas de las especies puede causar modificaciones en la productividad del ecosistema.

En la rizosfera de *T. cacao* se aislaron 28 morfotipos de HMA (Figuras 4, 5 y 6; Tablas 2 y 3), en los cuales generalmente el color de las esporas aisladas variaba desde amarillo claro a marrón oscuro y la forma predominante fue globosa/subglobosa. El morfotipo 1 (Figura 4A, Tabla 3) presentó el mayor tamaño con 321,71 y 289,57 μm de alto y ancho, respectivamente, mientras que el morfotipo 22 (Figura 6D, Tabla 3) presentó el menor tamaño con 68,67 y 55,77 μm de alto y ancho, respectivamente. El grosor de las paredes fue variable, oscilando entre 2,14 y 17,37 μm . Se pudieron observar paredes hialinas, irregulares y con ornamentaciones.

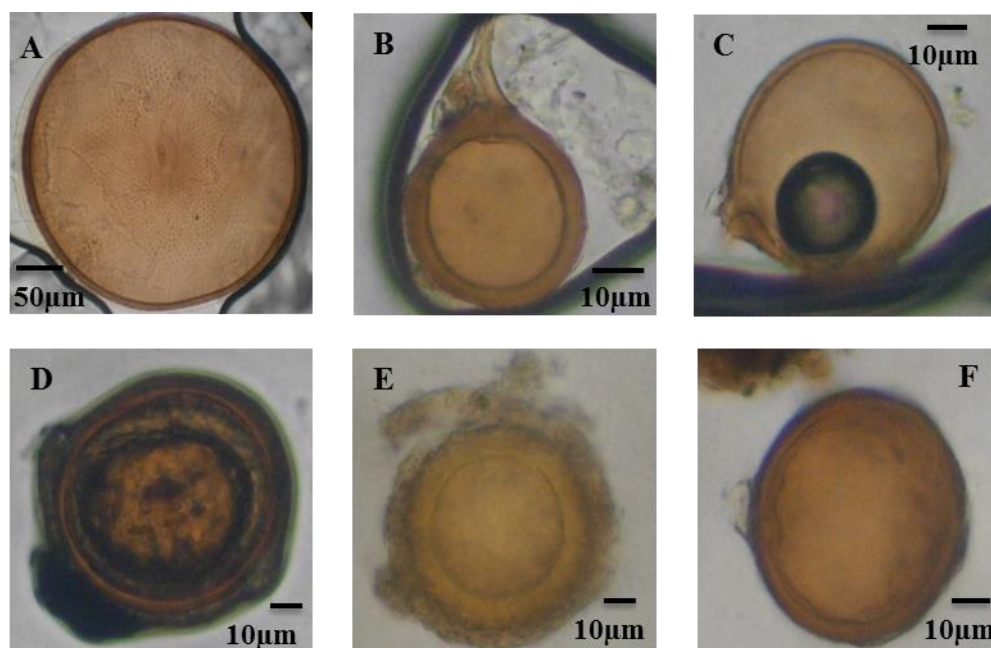


Figura 4. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Theobroma cacao* cultivada en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. A: MT-1, B: MT-2, C: MT-3, D: MT-4, E: MT-5 y F: MT-6.

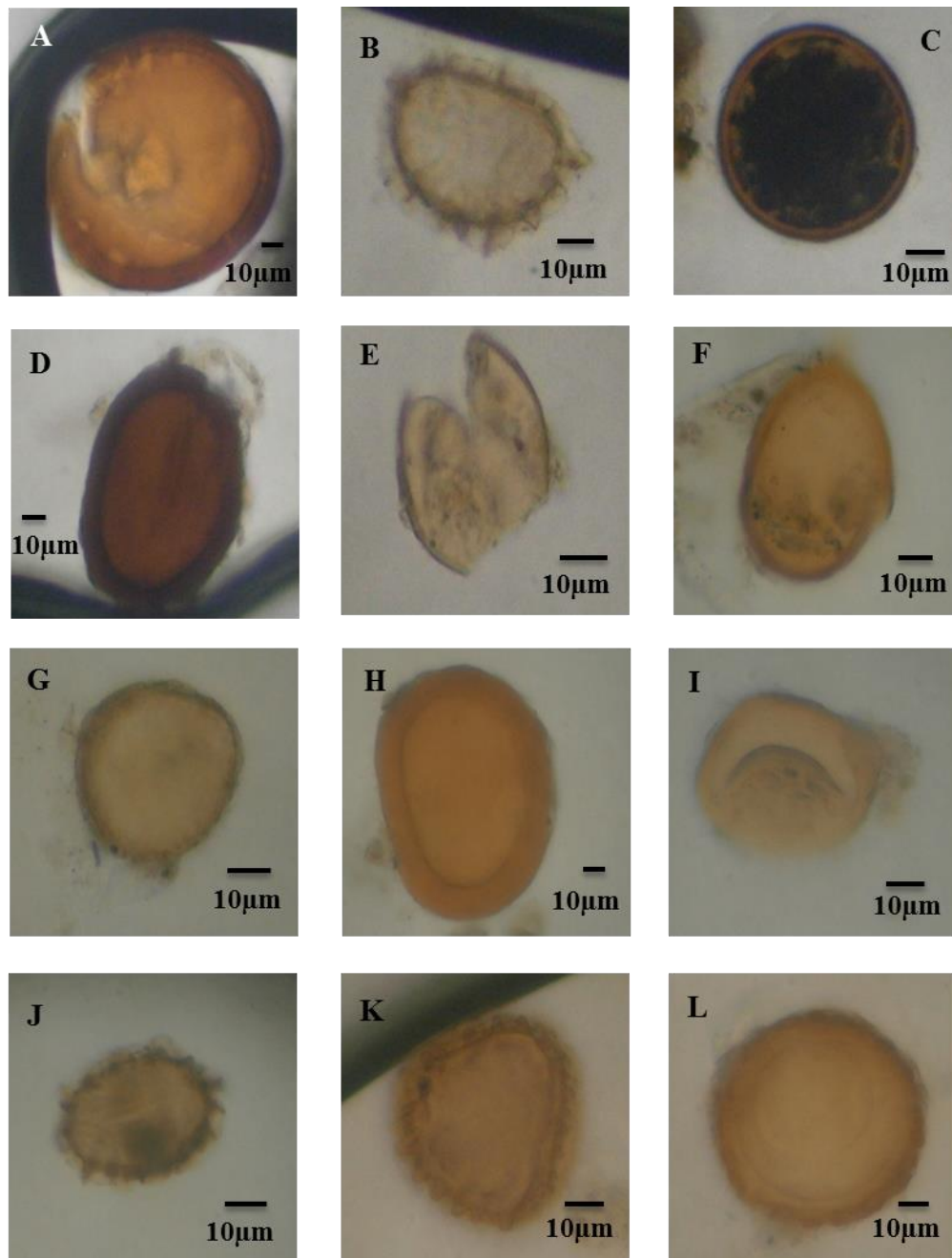


Figura 5. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Theobroma cacao* cultivada en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. A: MT-7, B: MT-8, C: MT-9, D: MT-10, E: MT-11, F: MT-12, G: MT-13, H: MT-14, I: MT-15, J: MT-16, K: MT-17 y L: MT-18.

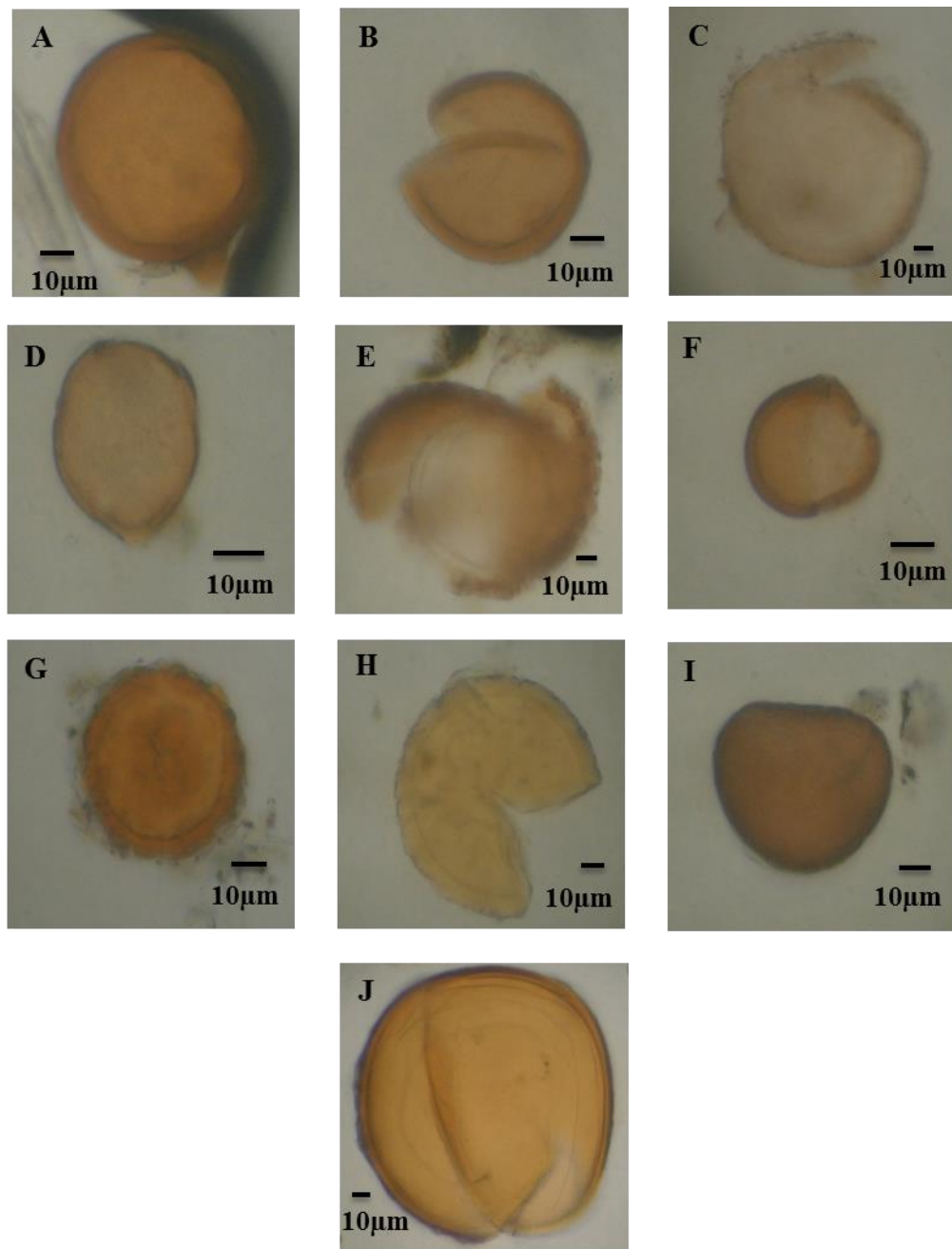


Figura 6. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Theobroma cacao* cultivada en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. **A:** MT-19, **B:** MT-20, **C:** MT-21, **D:** MT-22, **E:** MT-23, **F:** MT-24, **G:** MT-25, **H:** MT-26, **I:** MT-27 y **J:** MT-28.

Tabla 3. Descripción de las esporas aisladas en la rizosfera de *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela.

| HMA | Color | Forma/superficie | Tamaño (µm) | Pared / Grosor (µm) | Planta hospedera |
|-------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------|---|---------------------------------------|
| MT 1 | Marrón dorada clara | Subglobosa lisa | Ancho: 289,57 Alto: 321,71 | L1: Hialina L2: Marrón dorada oscura / 17,16 | <i>T. cacao</i> |
| MT 2 | Marrón dorada clara | Globosa/subglobosa | Ancho: 64,35 Alto: 68,64 | L1: Marrón dorada / 4,29 | <i>T. cacao</i> |
| MT 3 | Amarilla dorada | Globosa/subglobosa | Ancho: 72,93 Alto: 77,22 | L1: Amarilla dorada oscura / 4,29 | <i>T. cacao</i> |
| MT 4 | Marrón oscura | Globosa | 94,38 | L1: Marrón oscura / 4,50 L2: Marrón dorada oscura / 2,14 | <i>T. cacao</i> |
| MT 5 | Amarilla dorada clara | Globosa/subglobosa | Ancho: 85,8 Alto: 94,38 | L1: Pubescente / 8,58-12,87 L2: Amarilla dorada / 8,58 | <i>T. cacao</i> y <i>M. indica</i> |
| MT 6 | Amarilla dorada oscuro | Globosa/subglobosa | Ancho: 72,93 Alto: 77,22 | L1: Amarilla dorada oscuro con borde regular / 4,50 L2: Amarilla dorada clara con borde irregular / 8,79 | <i>T. cacao</i> y <i>S. mombin</i> |
| MT 7 | Marrón dorado claro | Globosa/subglobosa | Ancho: 132,99 Alto: 137,20 | L1: Marrón dorado oscuro / 13,08 | <i>T. cacao</i> |
| MT 8 | Amarilla dorada clara | Subglobosa | Ancho: 53,62 Alto: 77,22 | L1: Amarilla dorada clara / 4,50 | <i>T. cacao</i> |
| MT 9 | Marrón dorado claro con centro negro | Globosa/subglobosa | Ancho: 68,64 Alto: 72,93 | L1: Marrón clara / 4,29 | <i>T. cacao</i> |
| MT 10 | Marrón oscuro | Subglobosa | Ancho: 94,38 Alto: 119 | L1: Marrón oscura / 12,87 | <i>T. cacao</i> |

Tabla 3. Continuación.

| HMA | Color | Forma/superficie | Tamaño (μm) | Pared / Grosor (μm) | Planta hospedera |
|-------|--|--------------------|-------------------------------|---|---------------------------------------|
| MT 11 | Amarilla clara | Globosa | 60,06 | L1: Amarilla dorada clara / 2,14 | <i>T. cacao</i> |
| MT 12 | Marrón dorada | Subglobosa | Ancho: 64,35 Alto: 83,65 | L1: Marrón dorada oscuro / 4,29 | <i>T. cacao</i> y <i>S. mombin</i> |
| MT 13 | Amarilla dorada | Globosa/subglobosa | Ancho: 55,7 Alto: 66,49 | L1: Amarilla dorada oscura / 4,29 | <i>T. cacao</i> |
| MT 14 | Marrón dorada clara | Subglobosa | Ancho: 107,25 Alto: 137,28 | L1: Marrón dorada / 17,37 | <i>T. cacao</i> y <i>S. mombin</i> |
| MT 15 | Amarilla clara con escudo | Subglobosa | Ancho: 57,91 Alto: 75,07 | L1: Amarilla dorada / 4,29 | <i>T. cacao</i> |
| MT 16 | Amarilla dorado con bordes irregulares y ornamentaciones | Subglobosa | Ancho: 68,64 Alto: 98,67 | L1: Amarilla dorada oscura con bordes irregulares / 8,58-12,87 | <i>T. cacao</i> |
| MT 17 | Marrón dorada con capa externa irregular | Subglobosa | Ancho: 68,64 Alto: 72,93 | L1: Marrón clara lisa / 4,29 L2: Marrón dorada irregular / 4,29 | <i>T. cacao</i> |
| MT 18 | Amarilla dorada con escudo central | Globosa | Ancho: 94,38 Alto: 94,39 | L1: Amarilla dorada oscuro con ornamentaciones / 4,50 L2: Amarilla dorada clara / 4,50 | <i>T. cacao</i> |
| MT 19 | Marrón dorada lisa | Globosa/subglobosa | Ancho: 85,8 Alto: 90,09 | L1: Marrón dorada oscura / 4,50 | <i>T. cacao</i> |
| MT 20 | Amarilla dorada | Subglobosa | Ancho: 75,07 Alto: 85,8 | L1: Amarilla dorada oscuro / 4,50 | <i>T. cacao</i> |

Tabla 3. Continuación.

| HMA | Color | Forma/superficie | Tamaño (µm) | Pared / Grosor (µm) | Planta hospedera |
|-------|---|--------------------|-------------------------------|---|---------------------------------------|
| MT 21 | Amarilla clara con bordes irregulares | Globosa/subglobosa | Ancho: 128,7 Alto: 141,57 | L1: Amarilla clara con borde irregular / 8,58 | <i>T. cacao</i> |
| MT 22 | Amarilla dorada | Subglobosa | Ancho: 55,77 Alto: 68,64 | L1: Amarilla dorada oscura / 2,14 | <i>T. cacao</i> |
| MT 23 | Marrón dorada, bordes oscuros y ornamentaciones | Subglobosa | Ancho: 128,7 Alto: 137,28 | L1: Marron dorada oscura / 4,50 | <i>T. cacao</i> |
| MT 24 | Amarilla dorada con ornamentaciones | Globosa | Ancho: 64,34 Alto: 64,35 | L1: Amarilla dorada oscura / 4,29 | <i>T. cacao</i> |
| MT 25 | Amarilla dorada con ornamentaciones | Globosa | Ancho: 68,64 Alto: 81,51 | L1: Amarilla dorada oscura irregular / 4,50 | <i>T. cacao</i> |
| MT 26 | Amarilla con bordes irregulares | Globosa | Ancho: 126,55 Alto: 128,7 | L1: Amarilla / 4,29 | <i>T. cacao</i> |
| MT 27 | Marrón dorada oscura con ornamentaciones | Subglobosa | Ancho: 77,22 Alto: 90,09 | L1: Marrón dorada oscura / 4,50 | <i>T. cacao</i> |
| MT 28 | Amarilla dorada | Globosa/subglobosa | Ancho: 150,15 Alto: 158,73 | L1: Amarilla dorado / 4,29 | <i>T. cacao</i> y <i>M. indica</i> |
| MT 29 | Amarilla dorada con escudo naranja | Globosa/subglobosa | 137,28 | L1: Amarilla dorada / 4,29 | <i>S. mombin</i> |
| MT 30 | Marrón dorada clara con borde irregular | Globosa | 55,77 | L1: Marrón dorada oscura irregular / 2,14 | <i>S. mombin</i> |
| MT 31 | Naranja clara-dorada oscuro | Globosa | 72,93 | L1: Naranja oscuro / 2,14 | <i>S. mombin</i> |

Tabla 3. Continuación.

| HMA | Color | Forma/superficie | Tamaño (µm) | Pared / Grosor (µm) | Planta hospedera |
|-------|--|--------------------|------------------------------|--|------------------|
| MT 32 | Amarilla dorada con bordes oscuros | Globosa/subglobosa | Ancho: 68,64 Alto: 75,07 | L1: Amarilla dorada oscura / 4,50 | <i>S. mombin</i> |
| MT 33 | Marrón muy pequeña | Globosa | 8,58 | L1: Marrón oscura (no es medible) | <i>S. mombin</i> |
| MT 34 | Marrón dorada clara | Subglobosa | Ancho: 60,06 Alto: 77,22 | L1: Marrón dorada oscura / 4,50 | <i>S. mombin</i> |
| MT 35 | Amarilla clara con ornamentaciones internas | Globosa/subglobosa | Ancho: 94,38 Alto: 111,54 | L1: Transparente / 4,50 L2: Amarilla clara / 4,29 | <i>M. indica</i> |
| MT 36 | Amarilla dorada oscura con ornamentaciones internas y escudo | Subglobosa | Ancho: 77,22 Alto: 102,96 | L1: Amarilla dorada oscura / 4,29 | <i>M. indica</i> |
| MT 37 | Amarillo oscuro con ornamentaciones en toda la superficie | Subglobosa | Ancho: 68,64 Alto: 81,51 | L1: Amarilla dorada oscura (irregular) / 4,50 | <i>M. indica</i> |
| MT 38 | Amarilla dorada oscura con conexión hifal y canal interno | Subglobosa | Ancho: 57,91 Alto: 90,09 | L1: Amarilla dorada oscura (lisa) / 8,79 | <i>M. indica</i> |
| MT 39 | Amarilla dorada | Globosa | 85,8 | L1: Amarilla dorada irregular / 8,58 | <i>M. indica</i> |

Tabla 3. Continuación.

| HMA | Color | Forma/superficie | Tamaño (μm) | Pared / Grosor (μm) | Planta hospedera |
|-------|---|--------------------|-------------------------------|---|------------------|
| MT 40 | Amarilla con ornamentaciones en toda la superficie | Subglobosa | Ancho: 55,77 Alto: 81,51 | L1: Amarilla dorada oscura (irregular) / 8,79 | <i>M. indica</i> |
| MT 41 | Amarilla dorada | Globosa/subglobosa | Ancho: 188,76 Alto: 207,63 | L1: Amarilla dorada irregular / 8,58 L2: Amarilla dorada lisa / 4,29 | <i>M. indica</i> |
| MT 42 | Amarilla dorada | Subglobosa | Ancho: 68,64 Alto: 98,67 | L1: Amarilla dorada (lisa) / 4,50 | <i>M. indica</i> |
| MT 43 | Amarilla dorada con paredes oscuras, escudo y conexión hifal sin septos y canal interno | Subglobosa | Ancho: 55,77 Alto: 85,8 | L1: Amarilla dorada oscura (lisa) / 4,50 | <i>M. indica</i> |
| MT 44 | Amarilla dorada con borde oscuro y escudo central irregular | Subglobosa | Ancho: 175,89 Alto: 261,69 | L1: Amarilla dorada oscura lisa con bordes irregulares / 8,79-12,87 | <i>M. indica</i> |
| MT 45 | Amarilla dorada con bordes oscuros | Globosa/subglobosa | Ancho: 77,22 Alto: 81,51 | L1: Amarilla dorada oscura lisa / 4,29 | <i>M. indica</i> |
| MT 46 | Amarilla dorada con escudo irregular | Subglobosa | Ancho: 53,62 Alto: 68,64 | L1: Amarilla dorada (lisa) / 4,29 | <i>M. indica</i> |

En la rizosfera de *S. mombin* se aislaron un total de 9 morfotipos (Tabla 2). Los colores de las esporas de HMA asociados a este hospedero (Tabla 3, Figura 7) fueron amarillo dorado, naranja y marrón dorado. La forma predominante fue globosa. El menor tamaño se observó en el morfotipo 33 (Tabla 3, Figura 7H) con 8,58 μm de ancho y alto. Sin embargo, el mayor tamaño lo obtuvo el morfotipo 29 (Tabla 3, Figura 7D) con 137,28 μm de ancho y alto. El grosor de las paredes de los morfotipos varió de 2,14 a 4,50 μm .

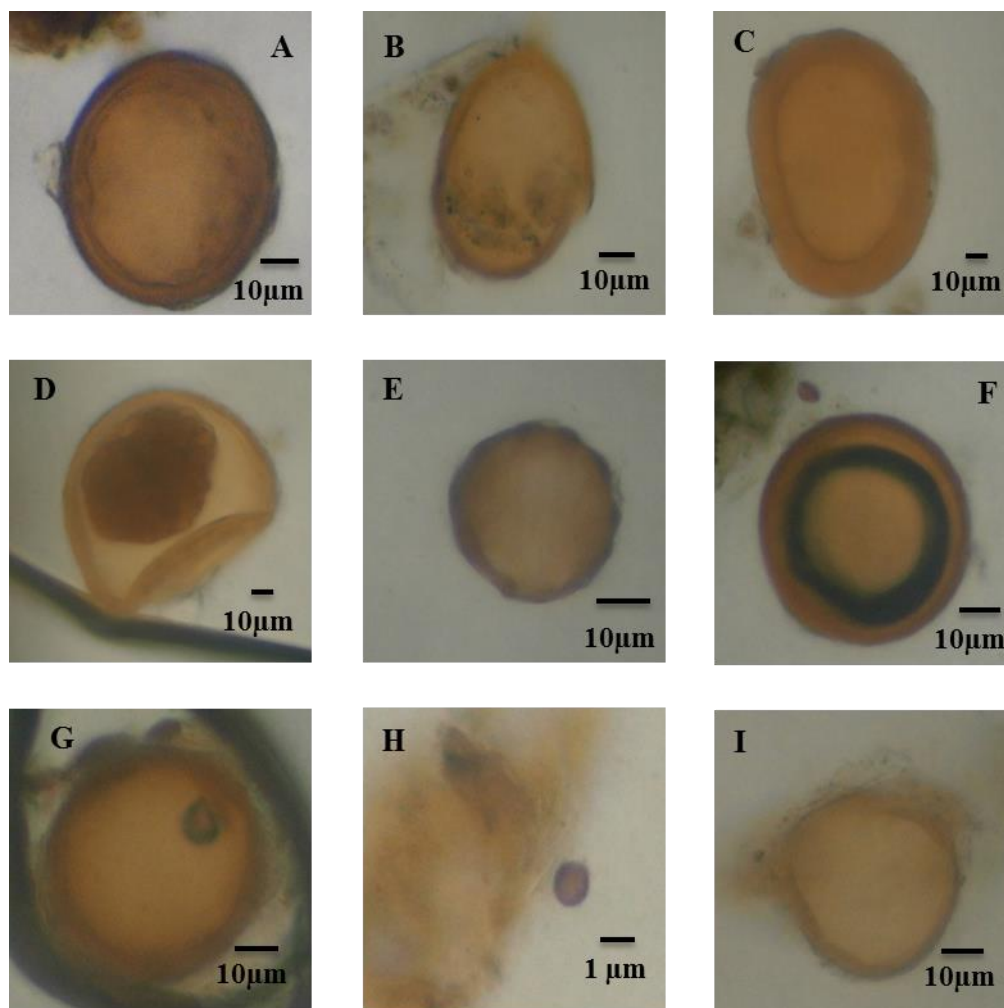


Figura 7. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Spondias mombin* cultivada en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. A: MT-6, B: MT-12, C: MT-14, D: MT-29, E: MT-30, F: MT-31, G: MT-32, H: MT-33 e I: MT-34.

En la rizosfera de *M. indica* se pudieron contabilizar 14 morfotipos (Tabla 2). En este caso los colores variaron desde amarillo claro hasta amarillo dorado oscuro (Tabla 3, Figuras 8 y 9). La forma predominante fue subglobosa. El mayor tamaño lo obtuvo el morfotipo 41 (Tabla 3, Figura 8I) con 261,69 y 175,89 μm de alto y ancho, respectivamente, mientras que el menor tamaño lo registró el morfotipo número 46 (Tabla 3, Figura 9E) con 68,84 y 53,62 μm de alto y ancho, respectivamente. El tamaño de las paredes varió de 4,29 a 12,82 μm .

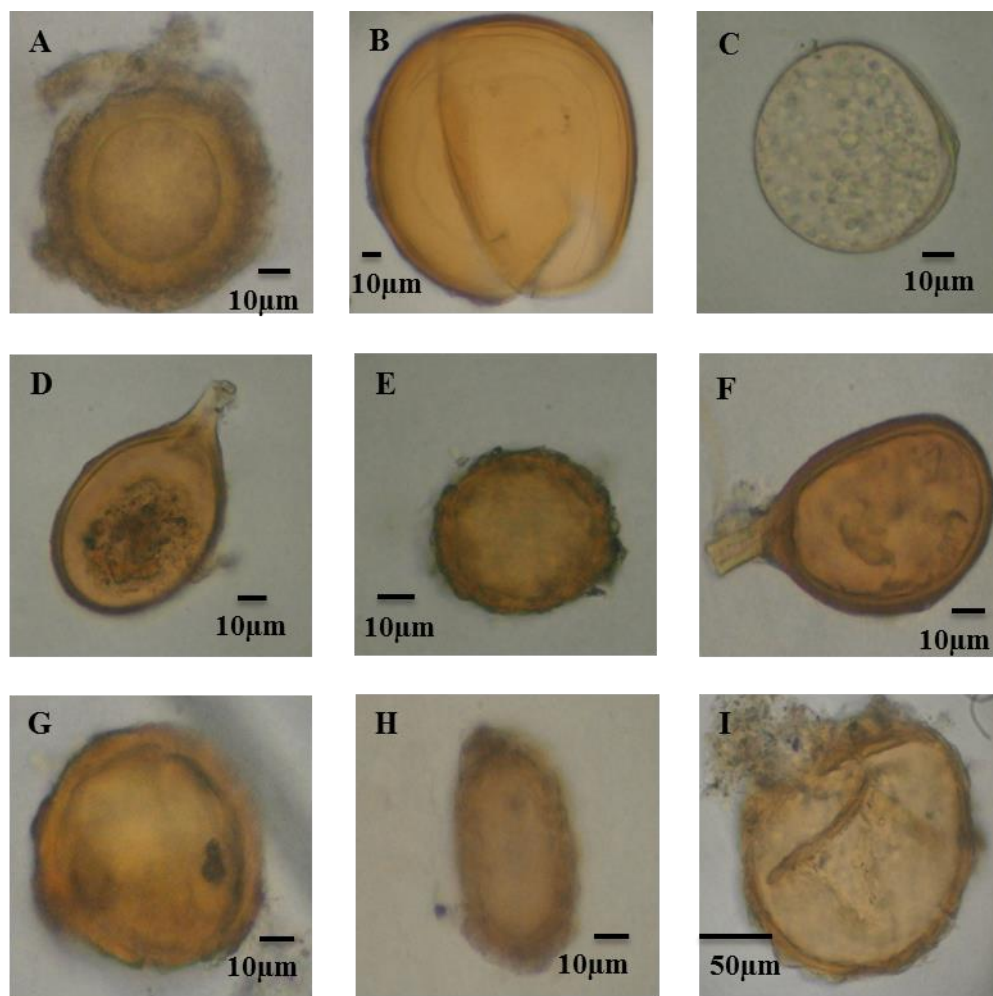


Figura 8. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Mangifera indica* cultivada en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. A: MT-5, B: MT-28, C: MT-35, D: MT-36, E: MT-37, F: MT-38, G: MT-39, H: MT-40 e I: MT-41.

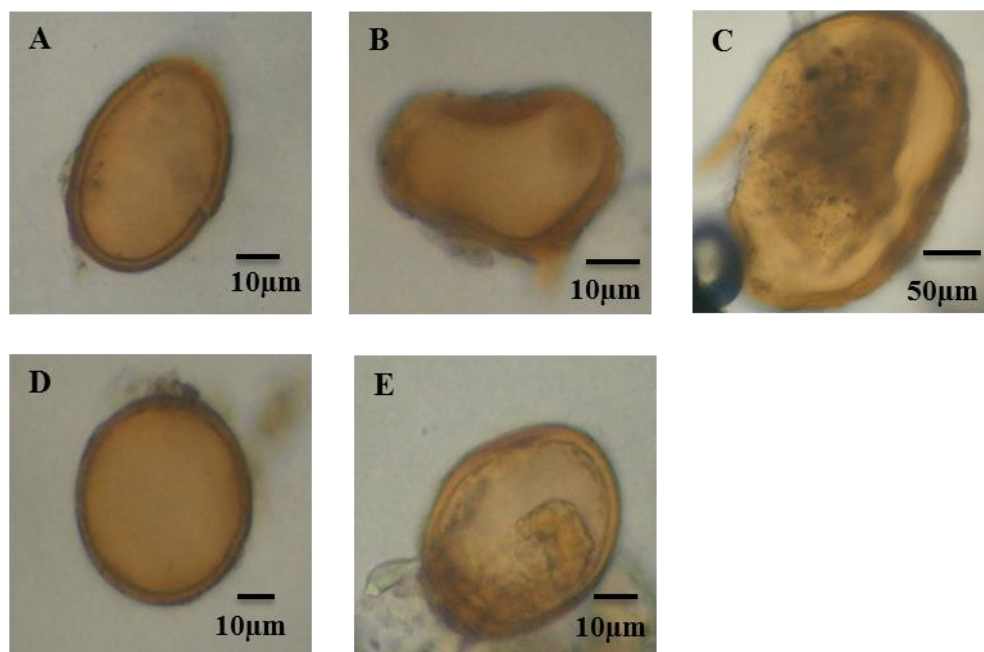


Figura 9. Esporas de HMA aisladas de la rizosfera de *Mangifera indica* cultivada en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. A: MT-42, B: MT-43, C: MT-44, D: MT-45 y E: MT-46.

En la Tabla 4 se muestra las plantas hospederas de cada uno de los morfotipos (MT) aislados e identificados en esta investigación. En esta tabla también se puede apreciar, que de los 46 MT totales observados, solo cinco lograron colonizar más de un hospedero. Los MT 6, 12 y 14 (Figura 10) pudieron ser vistos en las muestras de *T. cacao* y *S. mombin*, mientras que los MT 5 y 28 (Figura 11) fueron aislados en muestras de *T. cacao* y *M. indica*. Estos resultados indican que 41 de los MT aislados tienen especificidad en la interacción micorriza-planta hospedera, ya que solo fueron capaces de colonizar un único hospedero, por lo tanto se presume que son los más efectivos, es decir, que tienen la capacidad de aportar los mayores beneficios durante la formación y establecimiento de la simbiosis micorrízica, por estar mejor adaptados al sistema radical de la especie vegetal que colonizan. Estas observaciones contradicen lo expresado por Barrer (2009) y Pérez y Peroza (2013), quienes afirman que aparentemente, las especies de HMA no tienen especificidad en la elección de sus hospederos.

Tabla 4. Morfotipos (MT) de HMA presentes en la rizosfera de *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela.

| Morfotipo | <i>Theobroma cacao</i> | <i>Spondias mombin</i> | <i>Mangifera indica</i> |
|-----------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | X | | |
| 2 | X | | |
| 3 | X | | |
| 4 | X | | |
| 5 | X | | X |
| 6 | X | X | |
| 7 | X | | |
| 8 | X | | |
| 9 | X | | |
| 10 | X | | |
| 11 | X | | |
| 12 | X | X | |
| 13 | X | | |
| 14 | X | X | |
| 15 | X | | |
| 16 | X | | |
| 17 | X | | |
| 18 | X | | |
| 19 | X | | |
| 20 | X | | |
| 21 | X | | |
| 22 | X | | |
| 23 | X | | |
| 24 | X | | |
| 25 | X | | |
| 26 | X | | |
| 27 | X | | |
| 28 | X | | X |
| 29 | | X | |

Tabla 4. Continuación.

| Morfotipo | <i>Theobroma cacao</i> | <i>Spondias mombin</i> | <i>Mangifera indica</i> |
|-----------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 30 | | X | |
| 31 | | X | |
| 32 | | X | |
| 33 | | X | |
| 34 | | X | |
| 35 | | | X |
| 36 | | | X |
| 37 | | | X |
| 38 | | | X |
| 39 | | | X |
| 40 | | | X |
| 41 | | | X |
| 42 | | | X |
| 43 | | | X |
| 44 | | | X |
| 45 | | | X |
| 46 | | | X |

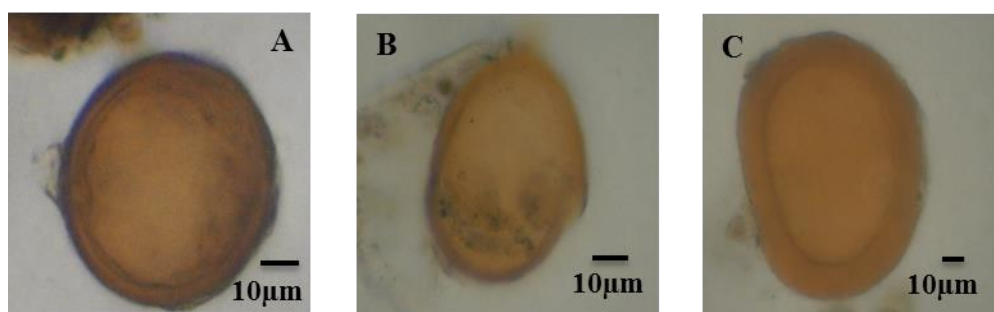


Figura 10. Morfotipos (MT) de HMA que colonizan simultáneamente el sistema radical de *Theobroma cacao* y *Spondias mombin*, cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. A: MT-6, B: MT-12 y C: MT-14.

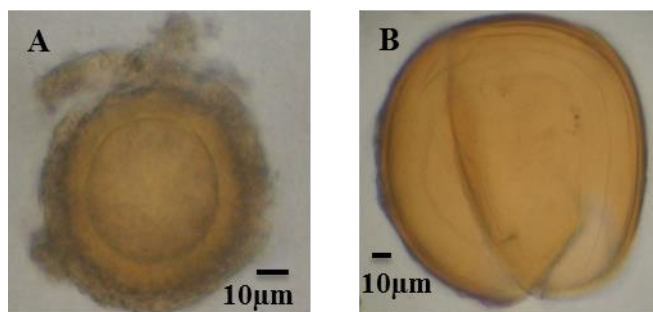


Figura 11. Morfotipos (MT) de HMA que colonizan simultáneamente el sistema radical de *Theobroma cacao* y *Mangifera indica*, cultivadas en la hacienda “Agua Fría”, municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela. A: MT-5 y B: MT-28.

La diversidad taxonómica de los HMA así como sus interacciones con la planta hospedera son muy complejas, por lo que en la actualidad aún son poco conocidas, a pesar de los roles tan importantes que cumplen estos hongos en los ecosistemas (Reyes, 2011). La mayor parte de los estudios se han enfocado en determinar la respuesta de la planta a la simbiosis micorrízica, sin considerar la procedencia o identidad del endófito (Varela y Trejo, 2001). Sin embargo, estos estudios han demostrado que las plantas micorrizadas se benefician en diferente magnitud dependiendo de los HMA que las colonicen (Smith *et al.*, 2000) e incluso la aplicación de estos hongos puede generar respuestas diferentes en cultivares de la misma especie (Yao *et al.*, 2001; Tawaraya, 2003).

La taxonomía de los Glomeromycota, al igual que la de muchos otros grupos de hongos, se ha basado principalmente en el estudio de los rasgos morfológicos de las esporas, siendo el número y grosor de las paredes, hifas, tamaño y color, los principales criterios usados para la delimitación de los HMA (Peña-Venegas *et al.*, 2006; Smith y Read, 2008; Medina, 2011). Géneros y familias se han distinguido por sus conexiones hifales, la forma de colonización que presentan, el modo de formación de la espora, la formación o no de sáculos esporíferos y su ubicación, vesículas, entre otros. Las esporas son de diferentes colores: blancas, amarillas, pardas, magenta, etc., y pueden carecer o no de escudos. Su tamaño puede variar de 20-50 µm y en las más grandes de 200-1 000 µm. Las paredes de las esporas están compuestas por una o más láminas que varían en grosor, apariencia, estructura y tinción a reactivos; lo cual ha permitido la elaboración de

murogramas específicos. Las paredes pueden ser lisas o presentar ornamentación en forma de espinas, reticulaciones o papilas (Peña-Venegas *et al.*, 2006; Smith y Read, 2008; Sánchez *et al.*, 2010; Medina, 2011; Reyes, 2011; Ruíz *et al.*, 2011; Aguilar-Ulloa *et al.*, 2016; Villasagua, 2017). Sin embargo, no es posible usar estos criterios para distinguir la colonización a nivel de especie (Brundrett, 1991). Por ello la abundancia de cada especie fúngica generalmente está representada a través de la cuantificación de esporas presentes en la rizosfera (Abbott y Gazey, 1994).

Para el caso concreto de los HMA, no existen claves actualizadas o completas que permitan identificar claramente los organismos colectados en la naturaleza (Peña-Venegas *et al.*, 2006). Adicionalmente, las especies descritas hasta el momento son referidas a las aisladas en países con características edafoclimáticas diferentes a las de Venezuela por lo que muchas veces la descripción de especies identificadas en el país no coinciden con las encontradas en otras latitudes (Mimbela, 2012).

En el estudio realizado por Ballesteros *et al.* (2004) donde se evaluó la presencia de HMA en cultivos de *Theobroma cacao*, *Musa* sp, *Borojoa patinoi* y *Bactris gassipaes*; se pudieron identificar especies de HMA pertenecientes a los géneros *Scutellospora*, *Glomus* y *Acaulospora*. Por otro lado, Rojas (2010) determinó la colonización micorrízica, número y diversidad de HMA en dos sistemas de producción de cacao (bajo bosque y sistema tradicional) en la provincia de San Martín, Perú, en época seca y húmeda; logró identificar 21 morfotipos correspondientes al género *Glomus* sp. y *Acaulospora* sp. En los trabajos mencionados en este párrafo, el género *Glomus* fue el más predominante, con 17 morfotipos.

El género *Glomus* ha sido catalogado como uno de los HMA más competitivos y efectivos para el crecimiento de las plantas; gracias a que incrementa la absorción del P y la proliferación de las raíces, lo que le permite presentar un alto porcentaje de colonización y conservación de su efectividad en ensayos de invernadero, además, de tolerar la aplicación de fertilizantes fosfatados (Sieverding, 1991). La dominancia de *Glomus* en las poblaciones nativas de los suelos agrícolas se debe posiblemente a que cuenta con un micelio extrarradical altamente infectivo; un amplio rango de adaptación al tipo de suelo y las condiciones edafoclimáticas; y una gran capacidad para sobrevivir

a condiciones variables de pH tanto ácidos como alcalinos (pH = 2,7-9,2). Posiblemente estos atributos le permite a las especies de este género establecer simbiosis activa con las plantas hospederas en mayor proporción que los demás géneros presentes en el inoculo nativo (Sieverding, 1991; Medina *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2012; Rodríguez-López *et al.*, 2015).

El aislamiento e identificación de los HMA es un primer paso para definir las cepas micorrízicas más eficientes, las cuales posteriormente garantizarán la producción de inóculos que servirán como biofertilizantes, ya que no solo estimulan el desarrollo y producción de las plantas, sino que también promueven la eliminación del uso de agroquímicos; favoreciendo de esta forma: la estructura y fertilidad del suelo, la resistencia de la planta hospedera a los cambios ambientales, plagas y enfermedades, y la presencia de microorganismos beneficiosos en la rizosfera de los cultivos establecidos en un determinado sustrato.

CONCLUSIONES

Theobroma cacao, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* presentaron un 100% de colonización micorrízica en su sistema radical.

La frecuencia de micorrización (%F) y riqueza arbuscular (%A) del sistema radical de las tres especies frutales estudiadas no variaron estadísticamente.

La efectividad de la interacción de los HMA nativos y el sistema radical de las plantas frutales evaluadas en esta investigación es baja (< 50%).

Las especies frutales pertenecientes a la familia Anacardiaceae (*S. mombin* y *M. indica*) presentaron el mayor número de esporas de HMA por 100 g de suelo.

Se encontró un total de 46 tipos morfológicos de esporas de HMA asociados a la rizosfera de las plantas hospederas evaluadas, siendo *Theobroma cacao* quien arrojó el mayor número de morfoespecies.

Los morfotipos (MT) 6, 12 y 14 (*T. cacao* y *S. mombin*) y MT 5 y 28 (*T. cacao* y *M. indica*) fueron los únicos aislados en muestras de rizosfera de más de una especie vegetal.

De los tipos morfológicos de esporas de HMA aislados, 41 morfoespecies tienen especificidad en la interacción micorriza-planta, ya que son capaces de colonizar un único hospedero.

RECOMENDACIONES

Realizar muestreos en las especies frutales *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la Hacienda “Agua Fría” durante la época de lluvia, con el objeto de evidenciar la existencia de variaciones en los porcentajes de infección, número de esporas y morfotipos de HMA asociados a su sistema radical.

Se sugiere realizar estudios basados en técnicas moleculares que permitan la identificación taxonómica certera de las especies fúngicas aisladas en este estudio.

Evaluar en los ejemplares de cacao, jobito y mango (variedad dudú) cultivados en la Hacienda “Agua Fría”, los parámetros de crecimiento y desarrollo (como altura, grosor del cuello del tallo, número de hojas fotosintéticas, biomasa, entre otros) con el objeto de determinar la efectividad de las simbiosis micorrízica establecida con las especies de HMA nativas que colonizan el sustrato.

Para determinar la efectividad de los HMA nativos asociados a la rizosfera de *T. cacao*, *S. mombin* y *M. indica* como biofertilizante de tierras agrícolas, se recomienda la realización de cultivos trampas para la obtención de los inóculos puros que serán empleados en bioensayos donde se evaluará el efecto de estas especies fúngicas en la germinación y crecimiento de las especies frutales cultivadas en la zona de muestreo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, L. y Gazey, C. 1994. An ecological view of the formation of VA mycorrhizas. *Plant Soil*, 159: 69-78.
- Acosta, D. 2019. Aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en la producción de plantas de selva baja caducifolia con fines de reforestación. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, México.
- Adriano, M.; García, M.; Ovando, I.; De Gyves, M. y Figueroa, M. 2008. Dinámica de hongos micorrízicos arbusculares en el mango variedad Ataúlfo. *Que hacer Científico en Chiapas*, 1(6): 25-31.
- Agrios, G. 2005. *Plant pathology*. Quinta edición. Editorial Academic Press. California, USA.
- Aguilar-Ulloa, W.; Arce-Acuña, P.; Galiano-Murillo, F. y Torres-Cruz, T. 2016. Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Tecnología en Marcha, Edición Especial Biocontrol*: 5-14.
- Aguilera, L.; Olaide, V.; Arriaga, R. y Contreras, R. 2007. Micorrizas arbusculares. *Revista Científica Multidisciplinaria de Prosperidad*, 14(3): 300-306.
- Aguinaga, M. 2019. Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en *Amaranthus* sp. y su efecto en la biorremediación de suelo contaminado con plomo. Trabajo de grado. Departamento Académico de Microbiología y Parasitología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú.
- Alarcón, A. y Ferrera, R. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra Latinoamericana*, 17(3): 179-191.
- Alarcón, A. y Ferrera, R. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*, 26: 191-203.
- Allen, E.; Allen, M.; Helm, D.; Trappe, J.; Molina, R. y Rincón, E. 1995. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. En: *The significance and regulation of soil biodiversity*. Collins, H.; Robertson, G. y Klug, M. (eds). Kluwer Academic Publishers. Netherlands, Países Bajos. Págs. 47-62.
- Alvarado, A.; Chavarría, M.; Guerrer, R.; Boniche, J. y Navarro, J. 2004. Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 28(1): 89-100.
- André, J.; Declerck, S. y Strullu, D. 2005. *In vitro* culture of mycorrhizas. En: *In vitro culture of mycorrhizas*. Declerck, S.; Strullu, D. y André, J. (eds). Springer-Verlag Berlin. Heidelberg, Alemania. Págs. 3-14.
- Arias, G. 2000. Determinación químico bromatológica y actividad antimicrobiana de *Spondias mombin* L. *Ciencias e investigación*, 2: 59-62.

- Arteaga, M.; Tafur, S.; Pérez, G.; Pastor, S. y Batista, A. 2020. Caracterización de la colonización por micorrizas en *Retrophyllum rospigliosii* Pilger en el bosque Huamantanga, Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3): 535-549.
- Azcón, R. y Ocampo, J. 1981. Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. *New Phytologist*, 87: 677-685.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2013. *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGrawHill/Interamericana. Barcelona, España.
- Ballesteros, W.; Unigarro, A.; Rosero, S. y Solarte, A. 2004. Determinación de hongos formadores de micorrizas (HMA) en *Theobroma cacao* L., *Musa* sp. Simmonds, *Borojoa patinoi* Cuatr y *Bactris gasipaes* HBK en el municipio de Tumaco, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 21(1-2): 1-9.
- Barrer, S. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(1): 123-132.
- Barriga, J.; Visbal, M. y Acero, J. 2011. Relación entre los caracteres de las micorrizas arbusculares nativas con las propiedades fisicoquímicas del suelo y bromatología del pasto estrella en ganadería de carne. *Revista científica UDO Agrícola*, 11(1): 134-141.
- Bethlenfalvay, G. y Linderman, R. (eds). 1992. *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. The American Phytopathological Society Special Publication No. 54. Wisconsin, USA.
- Blanco, F. 1997. Micorrizas en la agricultura: Contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 21(1): 55-67.
- Bolívar, A.; Toro, M.; Sandoval, M. y López, M. 2009. Importancia ambiental y socioeconómica de las micorrizas en el cultivo de cacao caso: hacienda cata, municipio Ocumare Costa de Oro, estado Aragua Venezuela. *Agronomía Tropical*, 59(4): 491-501.
- Bowen, G. 1987. The biology and physiology of infection and its development. En: *Ecophysiology of V-A mycorrhizal plants*. Safir, G. (ed). CRC, Press Inc. Florida, USA. Págs. 28-57.
- Brundrett, M. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 21: 171-313.
- Cáceres, K. 2012. Respuesta a las micorrizas arbusculares del virote (*Caesalpinia mollis* (H.B.K) Spreng) árbol vulnerable de un matorral xerófito en la península de Macanao, estado Nueva Esparta. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Camarena, G. 2012. Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3): 409-421.
- Camargo, S.; Montaña, N.; De la Rosa, C. y Montaña, S. 2012. Micorrizas: una gran

- unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria*, 13(7): 1-19.
- Carballar-Hernández, S.; Hernández-Cuevas, L.; Montaña, N.; Larsen, J.; Ferrera-Cerrato, R.; Taboada-Gaytán, O.; Montiel-González, A. y Alarcón, A. 2017. Native communities of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Capsicum annuum* L. respond to soil properties and agronomic management under field conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 245: 43-51.
- Castillo, N. 1987. *Una introducción al estudio del suelo y de los fertilizantes*. Editorial América C.A. Caracas, Venezuela.
- Castillo, R.; Sotomayor, S.; Ortiz, O.; Leonelli, G.; Borie, B. y Rubio, H. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*Capsicum annuum* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69: 79-87.
- Cortes, M.; Ferrera, R. y Cruz, J. 1996. Endomicorrizas vesículo arbusculares del mango (*Mangifera indica* L.) “Manila” en el estado de Veracruz. *Horticultura*, 5: 103-108.
- Cuadros, G.; Gómez, R. y Rodríguez, N. 2011 Asociación simbiótica entre hongos micorrízicos arbusculares y el sistema radicular de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.): efecto de la formononetina y la disponibilidad de fósforo en el suelo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1): 77-85.
- Cuenca, G. y Meneses, E. 1996. Diversity patterns of arbuscular mycorrhizal fungi associated with cacao in Venezuela. *Plant and Soil*, 183: 315- 322.
- Daniels, B. y Trappe, J. 1980. Factors affecting spore germination of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia*, 72: 457-471.
- Davies, F.; Saraiva, G.; Carpio, L. y Estrada, L. 2000. Colonization and growth effects of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in a commercial nursery container production system. *Journal of Environmental Horticulture*, 18: 247-251.
- Dodd, M.; Janson, S.; Facione, N.; Faucett, J.; Froelicher, E.; Humphreys, J.; Lee, K.; Miaskowski, C.; Puntillo, K.; Rankin, S. y Taylor, D. 2001. Advancing the science of symptom management. *Journal of Advanced Nursing*, 33(5): 668-676.
- Douds, D. y Millner, P. 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 77-93.
- Entry, A.; Rygielwicz, T.; Watrud, S. y Donnelly, K. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhizas. *Advances in Environmental Research*, 7(1): 123-138.
- Fernández, M. 2007. Fósforo amigo o enemigo. *ICIDEA*, 42(2): 51-57.
- Franken, P.; Donges, K.; Grunwald, U.; Kost, G.; Rexer, H.; Tamasloukh, M.; Waschke, A. y Zeuske, D. 2007. Gene expression analysis of arbuscule development and functioning Phytochem. *New Phytologist*, 68: 68-74.

- Gallart, F. 2017. La conductividad eléctrica del suelo como índice de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del parque natural de la albufera de Valencia. Trabajo de grado. Facultad Agroalimentaria, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- García, J.; Romero, M. y Ortiz, L. 2005. Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo del cacao. Informe técnico. Centro de Investigación TIBAITATÁ, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Mosquera, Colombia.
- Garrido, S. 1994. *Interpretación de análisis de suelos*. Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar su análisis. Editorial Getafe. Madrid, España.
- Gavito, M. y Valera, L. 1993. Seasonal dynamics of mycorrhizal associations in maize fields under low input agriculture. *Agriculture Ecosystems y Environment*, 45: 275-282.
- Gerdemann, J. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. En: *The development and function of roots*. Torrey, J. y Clarkson, D. (eds). Academic Press. New York, USA. Págs. 575-591.
- Gerdemann, J. y Nicolson, T. 1963. Spore mycorrhizal endogone extracted soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 73: 261-270.
- Gemma, J.; Koske, R. y Hapte, M. 2002. Mycorrhizal dependence of some endemic and endangered Hawaiian plant species. *American Journal of Botany*, 89: 337-345.
- González, D. 2018. Determinación de la materia orgánica del suelo mediante espectroscopia de reflectancia vis-NIR en áreas cultivadas con bionato (*Ipomea batata* (L) Lam. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central “Marta de Abreu” de las Villas. Santa Clara, Cuba.
- Guerra, B. 2008. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en Marcha*, 21(1): 191-201.
- Harley, J. y Smith, S. 1983. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press Inc. London, United Kingdom.
- INVAM (International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi). 1999. “Taxonomy the fungi mycorrhizal arbuscular”. “West Virginia University” <<http://invam.caf.wvu.edu/fungi/taxonomy/mycorrhizas>>. (10-01-2021).
- Jácome, D. 2017. Efecto de la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) sobre un sistema suelo-planta de cacao en suelos contaminados con cadmio en etapa de vivero. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Jaramillo, P.; Silva, B. y Osorio, V. 2004. Potencial simbiótico y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares de tres suelos sometidos a diferentes usos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, 57(1): 2203-2214.
- Julca, A.; Meneses, L.; Blas, R. y Bello, S. 2006. La materia orgánica, importancia y

- experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia*, 64(1): 49-61.
- Kalinhoff, C. 2012. Influencia de las micorrizas arbusculares sobre el crecimiento y respuesta a la sequía de *Piscidia Cartaguenensis* Jacq.: implicaciones en la recuperación de un bosque seco de la península de Macanao, Isla de Margarita. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Instituto de Biología Experimental. Caracas, Venezuela.
- Khakpour, O. y Khara, J. 2012. Spore density and root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in some species in the northwest of Iran. *International Journal of Sciences Basic and Applied Research*, 3(5): 977-982.
- Khanam, D.; Miridha, M.; Solaiman, A. y Hossain, T. 2006. Effect of edaphic factor on root colonization and spore population of arbuscular mycorrhizal fungi. *Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University*, 29: 97-104.
- Lacasta, C.; Meco, R. y Maire, N. 2005. *Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistema de cereales sometido a diferentes manejos de suelo durante 21 años. El reto de la Agricultura y Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común.* Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación. Madrid, España. Págs. 429-436.
- Lara, F. 1987. Estudio de la endomicorriza (V-A) en los agroecosistemas de las zonas áridas y semiáridas del Altiplano Potosino-Zacatecano. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Laycock, D. 1945. Preliminary investigations into the function of the endotrophic mycorrhiza of *Theobroma cacao* L. *Tropical agriculture*, 22(4): 77-80.
- León, D. 2006. Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca (*Manihot esculenta* sp.) en dos regiones de la Amazonía colombiana. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Liasu, M. y Ogundola, A. 2006. Effects of pre- and post-transplant inoculation with *Glomus mosseae* on heavy metal (cadmium) absorption by potted tomato plants. *Middle East Journal of Scientific Research*, 1(1): 16-22.
- López, M.; López, I.; España, M.; Izquierdo, A. y Herrera, L. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao* L. *Agronomía Tropical*, 57(1): 31-43.
- López, R. y Montalvo, C. 2019. Caracterización de micorrizas arbustivas en diferentes materiales genéticos de palma aceitera, Concordia-Ecuador. *Revista Científica Ecuatoriana*, 6: 45-52.
- Lovera, M. y Cuenca, G. 2007. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sábana natural y una sábana perturbada

- de la gran sabana, Venezuela. *Interciencia*, 32(2): 108-114.
- Lozano, J.; Arnbrecht, I. y Montoya, L. 2015. Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos. *Acta Agronomica*, 64(4): 289-296.
- Marcano, R. 2012. Evaluación de micorrizas arbusculares en dos sistemas de producción agrícola y pecuario en la “Granja La Esperanza” en el sector de Tarabacoa, municipio Bolívar del estado Sucre. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Martin, C. y Stutz, J. 2004. Active effects of temperature and arbuscular mycorrhizal fungi on growth, P uptake and root respiration of *Capsicum annuum* L. *Mycorrhiza*, 14: 241-244.
- Mazariegos, J. 2009. El cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el sureste de México. Trabajo de grado. Departamento de Sociología, División de Ciencias Socioeconómicas, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, México.
- Medina, F. 2011. Efecto de las micorrizas arbusculares y la fertilización con fósforo en el crecimiento y desarrollo de plantas de *Petroselinum sativum* Mill. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Medina, L.; Rodríguez, Y.; Torres, Y. y Herrera, R. 2010. Aislamiento e identificación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de la zona de Las Caobas, Holguín. *Cultivos Tropicales (La Habana)*, 31: 33-42.
- Mengel, K. y Kirkby. 2000. *Principios de nutrición vegetal*. Instituto Internacional del Potasio. Basilea, Suiza.
- Mimbela, I. 2012. Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, del orden Glomerales, en cinco municipios del estado Sucre, Venezuela. Trabajo para ascender a la categoría de Profesor Agregado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Moreira, M.; Nogueira, M.; Tsai, S.; Gomes-da-Costa, S. y Cardoso, E. 2007. Sporulation and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil pine in the field and in the greenhouse. *Mycorrhiza*, 17: 519-526.
- Morton, J.; Bentivenga, S. y Wheeler, W. 1993. Germ plasm in the international collection of arbuscular and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. *Mycotaxon*, 48: 491-528.
- Navarro, B. y Navarro G. 2003. *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Segunda edición. Mundi prensa. Madrid, España.
- Navarro, J.; Moral, H.; Gómez, L. y Mataix, B. 1995. *Residuos orgánicos y agricultura*. Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones. Alicante, España.
- Ortiz, A.; Osorio, N.; Echeverri, J.; González, O. y Medina, M. 2015: Fisiología de los

- hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Livestock Research for Rural Development*, 27(9): 188-193.
- Paszkowski, U. 2006. A journey through signaling in arbuscularmycorrhizal symbioses. *New Phytologist*, 172(1): 35-46.
- Peña-Venegas, C.; Cardona, G.; Mazorra, A.; Arguellez, J. y Arcos A. 2006. *Micorrizas arbusculares de la amazonia colombiana*. Catalogo Ilustrado. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Bogotá, Colombia.
- Pérez, A. y Peroza, V. 2013. Micorrizas arbusculares asociadas al pasto angleton (*Dichathium aristatum* Benth) en fincas ganaderas del municipio de Tolú, Sucre-Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 18(1): 3362-3369.
- Pérez, A.; Cury, K. y Oviedo, L. 2016. Colonización de micorrizas arbusculares en tres especies de pasturas del departamento de Sucre. *Temas Agrarios*, 21(2): 65-75.
- Pérez, E. 2017. Evaluación del efecto agronómico de dos tipos de micorrizas en el establecimiento de cultivos meristemáticos en banano (*Musa acuminata* AAA) en fase de vivero, cantón Yaguachi, provincia del Guayas. Trabajo de grado. Facultad de Educación Técnica, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Pérez, Y.; Álvarez, J.; Mendoza, J.; Pat, J.; Gómez, R. y Cuevas, L. 2012. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana y Botánica*, 69(1): 45-56.
- Peterson, R.; Massicotte, H. y Melville, L. 2004. *Mycorrhizas: Anatomy and cell biology*. CABI publishing. Ottawa, Canadá.
- Phillips, J. y Hayman, D. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55: 158-161.
- Porter, W.; Robson, A. y Abbott, L. 1987. Field survey of the distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in relation to soil pH. *Journal of Applied Ecology*, 24: 659-662.
- Posada, R.; Franco, L.; Cuellar, A.; Chacón, W. y Sánchez, A. 2007. Inóculo de hongos de micorriza arbuscular en pasturas de *Brachiaria decumbens* (Poaceae) en zonas de loma y vega. *Acta de Biología Colombiana*, 12(1): 113-120.
- Prieto, O.; Belezaca, C.; Mora, W.; Garcés, F.; Sabando A. y Cedeño, P. 2012. Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en sistemas agroforestales con cacao en el trópico húmedo ecuatoriano. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2): 233-239.
- Pumplin, N. y Harrison, M. 2009. Live-cell imaging reveals periarbuscular membrane domains and organelle location in *Medicago truncatula* roots during arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Physiology*, 151(2): 809-819.
- Quiñones, E.; Hernández, L.; López, L. y Rincón, E. 2019. Efectividad de hongos

- micorrízicos arbusculares nativos de rizosfera de agave como promotores de crecimiento de papaya. *Terra Latinoamericana*, 37(2): 163-174.
- Reyes, J. 2011. La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: comunidad microbiológica dinámica del suelo. *Contactos*, 81: 17-23.
- Rillig, M. y Mummey, D. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171: 41-53.
- Rivera, F.; González, V.; González, J. y Ossa, P. 2016. Caracterización molecular, análisis morfológico y colonización micorrízica en la rizósfera del aguacate (*Persea americana* Mill) en Caldas, Colombia. *Revista Acta Agronómica*, 65(4): 398-405.
- Rivera, Y.; Galindo, T.; Caicedo, A.; Navarro, E. y Romero, H. 2014. *Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en palma de aceite*. Boletín técnico 35. Cenipalma. Bogotá, Colombia.
- Rodríguez-López, C.; Navarro, A.; Arboleda-Valencia, J.; Valencia-Jiménez, A. y Valle-Molinarés, R. 2015. Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a plantas de *Zea mays* L. en un agroecosistema del Atlántico, Colombia. *Revista de Agronomía*, 23(1): 20-34.
- Rojas, J. 2010. Hongos micorrízicos arbusculares en la rizosfera de genotipos promisorios de cacao (*Theobroma cacao*) bajo los sistemas tradicional y bajo bosque en la región de San Martín. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de San Martín. Tarapotó, Perú.
- Ruíz, 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.
- Salas, E. y Blanco, F. 2000. Selección de plantas hospederas y efecto del fósforo para la producción de inóculo de hongos formadores de micorrizas arbusculares por el método de cultivo en macetas. *Agronomía Costarricense*, 24: 19-28.
- Saldaña, M.; Gómez, R.; Rivera, M.; Álvarez, J.; Ortiz, C. y Pat, J. 2014. Efecto de abonos orgánicos en la dinámica microbiológica del suelo y producción de *Alpinia purpurata* (Vieill) K. Schum. *Interciencia*, 39(11): 809-815.
- Sales, B. 2006. Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, Departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro de carbono. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Sánchez, A.; Salcedo, S.; Mendoza, R.; Pinedo, J. y Moreno, S. 2018. Aislamiento e identificación de micorrizas arbusculares (MA) asociadas a la rizosfera del chile piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare* L.). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3: 86-91.
- Sánchez, M.; Posada, R.; Velásquez, D. y Narváez, M. 2010. *Metodologías básicas para*

el trabajo con micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.

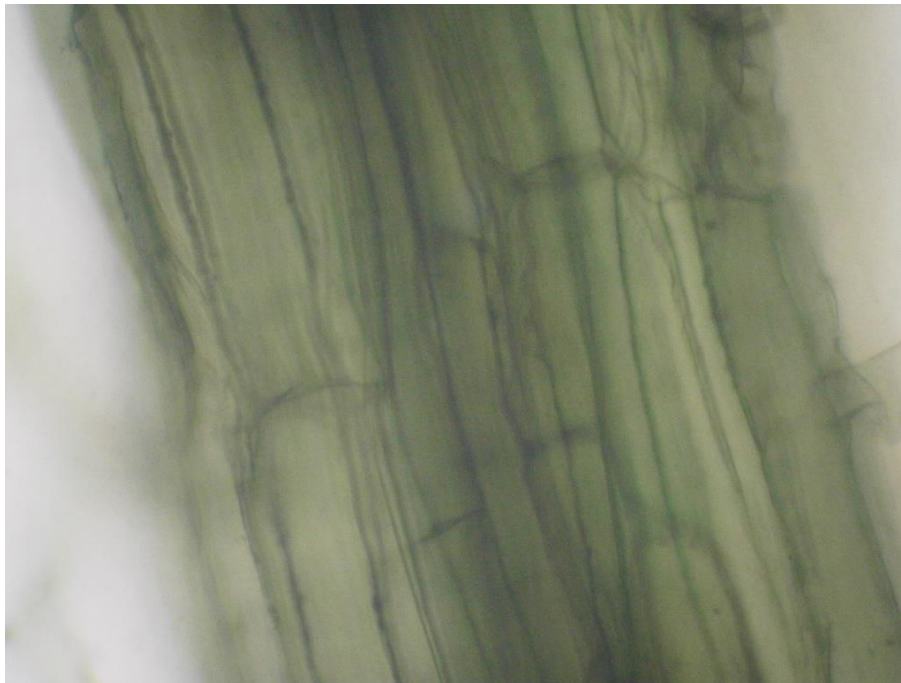
- Sanders, I. y Fitter, A. 1992. The ecology and functioning of vesiculo arbuscular mycorrhizas in co-existing grassland species II. Nutrient uptake and growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal plants in semi-natural grassland. *New Phytologist*, 120: 525-533.
- Sieverdind, E. 1984. Aspectos básicos de la investigación de la micorriza vesículo arbuscular. En: *Investigaciones sobre micorrizas en Colombia*. Memorias del primer curso nacional de micorrizas. Sieverdind, E.; Sánchez, M. y Bravo, N. (eds). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Págs. 1-15.
- Sieverding, E. 1991. *Vesicular-arbuscular mycorrhizal management in tropical agrosystems*. Technical Cooperation. Berlin, Federal Republic of Germany.
- Smith, F.; Jakobsen I. y Smith, S. 2000. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. *New phytologist*, 147: 357-366.
- Smith, S. y Read, D. 1997. Mutualism y parasitism: biodiversity in fuction and estructura in the arbuscular (AV) mycorrhizal symbiosis. *Advances in Botanical*, 22: 1-43.
- Smith, S. y Read, D. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press. Cambridge, Gran Bretaña.
- Souza, R.; Maia, C.; Sales, M. y Trufen, S. 2003. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízico arbusculares área de Caatinga, naregiao de Xingó, estado de Alaguas, Brazil. *Canadian Journal of Botany*, 26: 49-60.
- Tapia, J. 2003. Identificación de hongos micorrízicos arbusculares aislados en suelos salinos y su eficiencia en plantas de lechuga (*Lactuca sativa*). Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima. Tecomán, México.
- Tapia, J.; Ferrera, R.; Varela, L.; Rodríguez, J.; Soria, J.; Tiscareño, N.; Loredó, C.; Alcalá, J. y Villar, C. 2010. Infectividad y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de suelos salinos en el cultivo de lechuga (*Latuca sativa*). *Revista Mexicana de Micología*, 31: 69-74.
- Tawaraya, K. 2003. Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 49: 655-668.
- Taylor, J.; Waltenbaugh, A. y Shields, M. 2008. Impact of vesicular arbuscular mycorrhiza on root anatomy in *Zea mays* and *Lycopersicon esculentum*. *African Journal of Agricultural Research*, 3(1): 001-006.
- Tena, A. 2002. Presencia de hongos micorrízicos arbusculares en plantas silvestres de suelos salinos en el estado de Colima. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima. Tecomán, México.

- Thompson, J. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. En: *Advances in soil sciences*. Stewart, B. (ed). Springer-Verlag. New York, USA. Págs. 1-40.
- Trouvelot, A.; Kough, J. y Gianinazzi-Pearson, V. 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de methods d'estimation ayant une signification fonctionelle. En: *Physiological and genetical aspects of mycorrhizae*. Gianinazzi-Pearson, V. y Gianinazzi, S. (eds). Editorial INRA. Paris, Francia. Págs. 101-109.
- Van de Heijden, M.; Klironomos, J.; Ursic, M.; Moutoglis, P.; Streiwolf-Engel, R.; Boller, T.; Wiemken, A. y Sander, I. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396: 69-72.
- Varela, L. y Estrada-Torres, A. 1997. El papel de los microorganismos de la rizosfera y de la micorriza en la absorción de nutrimentos minerales y agua. En: *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*. Orellana, R.; Escamilla, J. y Larque-Saavedra, A. (eds). Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC. (CICY). Yucatán, México. Págs. 50-60.
- Varela, L. y Trejo, D. 2001. Los hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México. *Acta Zoológica Mexicana*, N.S.: 39-51.
- Villasagua, E. 2017. Identificación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en diferentes fincas productoras de cacao en la zona de Vinces-Ecuador. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias para el Desarrollo, Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Yañes, J. 1970. Análisis de suelo y su interpretación. *Horticultura*, 12: 75-89.
- Yao, Q.; Li, X.; Feng, G. y Christie, P. 2001. Influence of extramatrical hyphae on mycorrhizal dependency of wheat genotypes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 3307-3317.
- Yeasmin, T.; Zaman, P.; Rahman, A.; Absar, N. y Saba, N. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungus inoculum production in rice plants. *African Journal of Agricultural Research*, 2(9): 463-467.
- Zhang, H.; Tang, M.; Chen, H.; Zheng, C. y Niu, Z. 2010. Effect of inoculation with AM fungi on lead uptake, translocation and stress alleviation of *Zea mays* L. seedlings planting in soil with increasing lead concentrations. *European Journal of Soil Biology*, 46: 306-311.

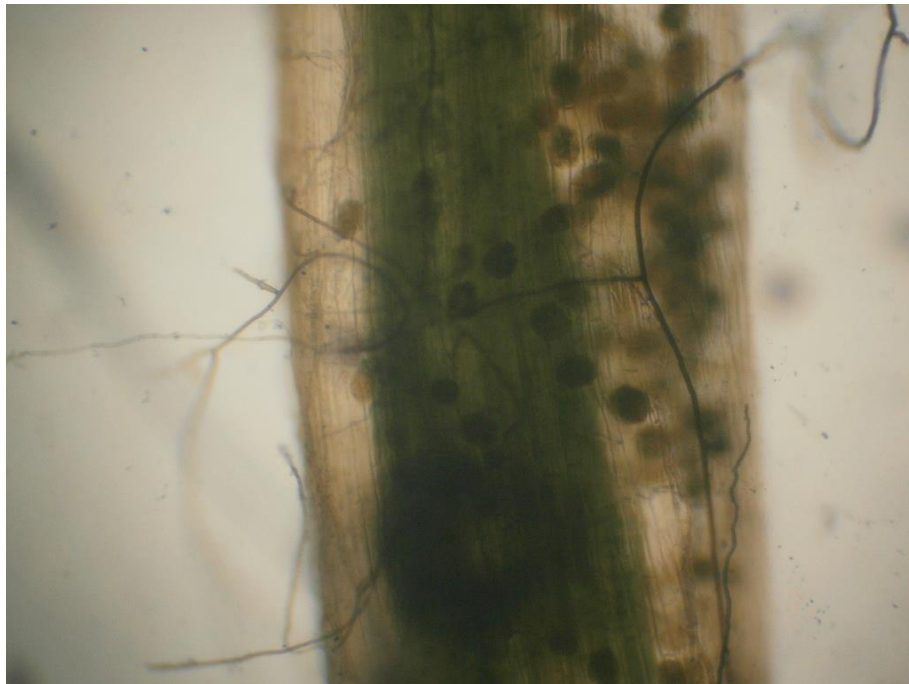
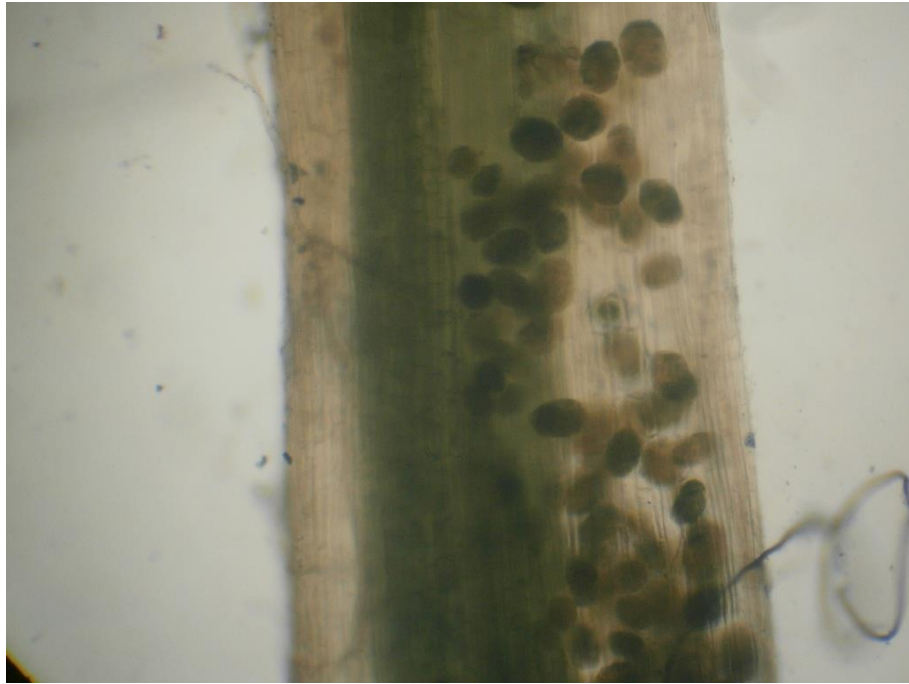
APÉNDICES

Apéndice 1. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado al número de esporas x 100 g de suelo de la rizosfera de *Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica* cultivadas en la hacienda “Agua Fría”.

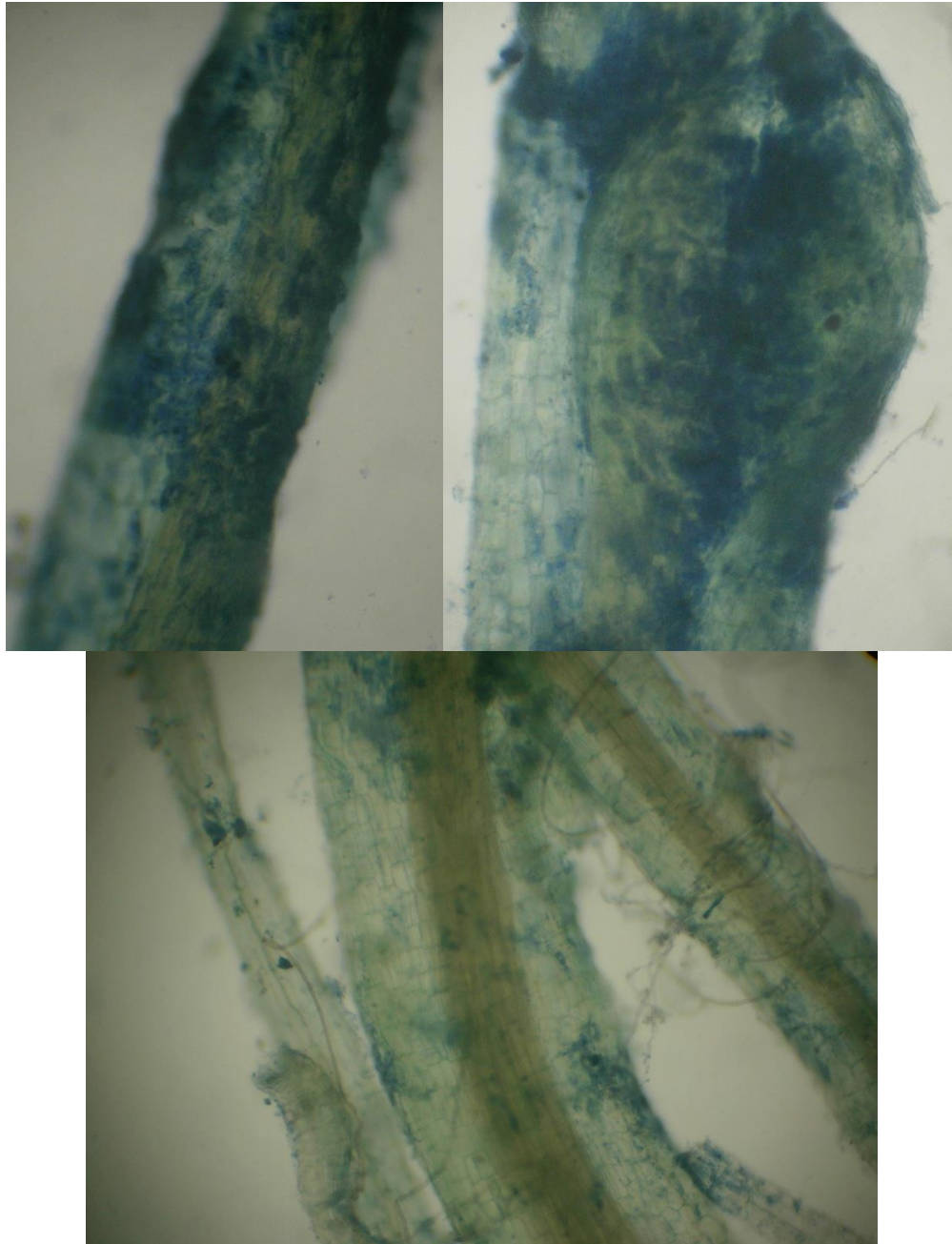
| Planta hospedera | Casos | Media | Grupos homogéneos |
|-------------------------|-------|----------|-------------------|
| <i>Theobroma cacao</i> | 9 | 60,4444 | a |
| <i>Mangifera indica</i> | 9 | 119,0000 | b |
| <i>Spondias mombin</i> | 9 | 138,4440 | b |



Apéndice 2. Raíz teñida con azul de tripano al 0,05% sin evidencia de colonización micorrízica.



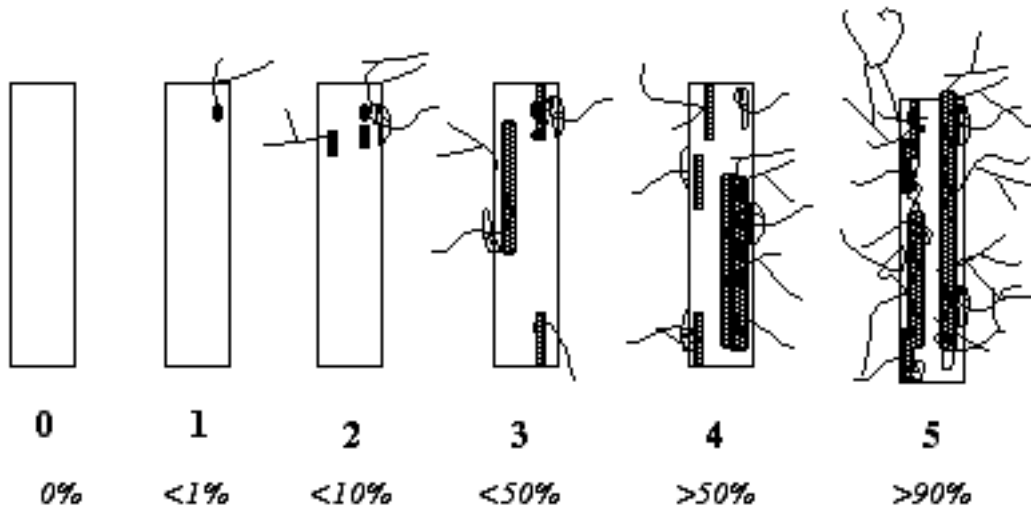
Apéndice 3. Raíces teñidas con azul de tripano al 0,05% donde se evidencia la formación de vesículas.



Apéndice 4. Raíces teñidas con azul de tripano al 0,05% donde se evidencia la formación de arbusculos.

ANEXOS

SCORING MYCORRHIZAL COLONIZATION IN CLASSES FROM 0 TO 5



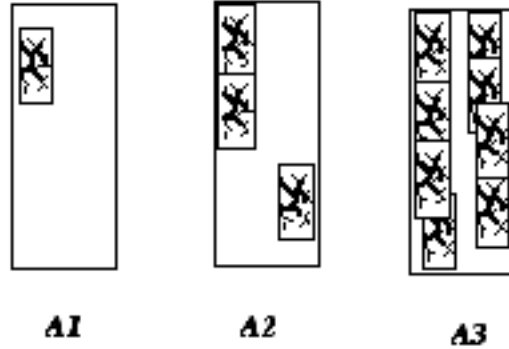
SCORING ARBUSCULE ABUNDANCE

None : A0

Few arbuscules : A1

Frequent : A2

Abundant : A3



Anexo 1. Estimación de la infección micorrízica y abundancia arbuscular según Trouvelot *et al.* (1986).



Anexo 2. Carta de colores utilizada para la identificación de las esporas de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA). Tomado de INVAM (1999).

HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

| | |
|------------------|---|
| Título | EVALUACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES ASOCIADAS A TRES ESPECIES FRUTALES EN LA HACIENDA AGUA FRIA, MUNICIPIO ARISMENDI, ESTADO SUCRE, VENEZUELA |
| Subtítulo | |

Autor (es):

| Apellidos y Nombres | Código CVLAC / e-mail | |
|----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Lugo L. Martgloris J. | CVLAC | 22 926 972 |
| | e-mail | <i>lugolarezmartgloris@gmail.com</i> |
| | e-mail | |
| | CVLAC | |
| | e-mail | |
| | e-mail | |
| | CVLAC | |
| | e-mail | |
| | e-mail | |

Palabras o frases claves:

| |
|---------------|
| Esporas |
| Colonización |
| Simbiosis |
| Arbúsculos |
| Especificidad |
| Cacao |
| Jobito |
| Mango |

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

| Área | Subárea |
|----------|----------|
| Ciencias | Biología |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

Resumen (abstract):

Se evaluó la compatibilidad de la interacción HMA-planta hospedera mediante la determinación de la frecuencia de micorrización (%F) y riqueza arbuscular (%A) del sistema radical de la planta, el conteo del número total de esporas en 100 g de suelo y la descripción de los morfotipos de HMA asociados a la rizosfera de tres especies frutales (*Theobroma cacao*, *Spondias mombin* y *Mangifera indica*) cultivadas en la hacienda “Agua Fría”. La %F y %A en cada especie vegetal se determinó mediante el método de Trouvelot. Para la extracción de esporas se siguió el método del tamizado húmedo propuesto por Gerdemann y Nicolson y para su identificación, las esporas intactas y saludables se agruparon morfológicamente de acuerdo a su color, forma, tamaño, pared interna, etc. Los resultados muestran que las especies presentaron diferencias estadísticamente no significativas en la %F y %A. Sin embargo, en cuanto al número de esporas se observaron diferencias significativas, siendo las muestras de las rizosferas de mango y jobito donde se contabilizaron los mayores valores de esporas de HMA en 100 g de suelo. Se identificaron 46 morfotipos de HMA asociados a las rizosferas de los frutales estudiados, siendo menor la diversidad morfológica de los hongos asociados a las especies pertenecientes a la familia Anacardiaceae en comparación con la especie *T. cacao*, donde se contabilizó un total de 28 morfotipos. Estos resultados, reflejan la existencia de una gran diversidad de HMA en la zona de estudio, los cuales generalmente establecen especificidad en la interacción hongo-planta hospedera. Adicionalmente, permiten inferir que aunque la colonización del sistema radical sea efectiva, ésta no garantiza que la simbiosis mutualista sea exitosa, debido a que la baja formación o inactivación de los arbusculos, afecta significativamente el intercambio bilateral de nutrientes entre estos microorganismos y las células corticales. Por lo tanto, es necesario continuar estudiando las poblaciones nativas de HMA, ya que su utilización como biofertilizantes contribuye a garantizar el establecimiento exitoso de las especies vegetales, reduciendo o evitando en gran medida la utilización de productos químicos, que producen consecuencias negativas para el ambiente, la salud y economía de los agricultores y/o consumidores.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

| Apellidos y Nombres | ROL / Código CVLAC / e-mail | |
|--------------------------|-----------------------------|--|
| Medina M. Fanny del V. | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 18 417 742 |
| | e-mail | <i>medinamfanny_13@hotmail.com</i> |
| | e-mail | <i>medinamfanny1313@gmail.com</i> |
| Valerio C. Rosanna | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 11 655 957 |
| | e-mail | <i>prof.rosanna.valerio@gmail.com</i> |
| | e-mail | |
| Franco S. Elérida del V. | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 5 089 346 |
| | e-mail | <i>eleridafrancos@hotmail.com</i> |
| | e-mail | |
| | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | |
| | e-mail | |
| | e-mail | |

Fecha de discusión y aprobación:

| | | |
|------|-----|-----|
| Año | Mes | Día |
| 2021 | 07 | 26 |

Lenguaje: spa.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo (s):

| Nombre de archivo | Tipo MIME |
|-------------------|----------------|
| TG-lugom.doc | Word 1997-2003 |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

Alcance:

Espacial: Nacional (Opcional)

Temporal: Temporal (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciado en Biología

Nivel Asociado con el Trabajo: Licenciado

Área de Estudio: Biología

Institución (es) que garantiza (n) el Título o grado:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE SUCRE

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Letido el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

| | | |
|---|-------------------------|------------|
| UNIVERSIDAD DE ORIENTE SISTEMA DE BIBLIOTECA | Cordialmente, | |
| RECIBIDO POR <i>[Signature]</i> | | |
| FECHA 5/8/09 HORA 5:30 | JUAN A. BOLAÑOS CUNVELO | Secretario |

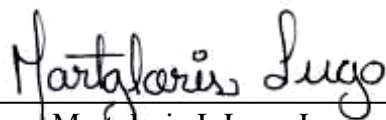
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

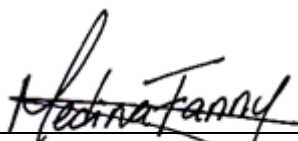
Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”.



Margaritis J. Lugo L.
AUTORA



Fanny del V. Medina M.
TUTORA