

HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES: UNA ALTERNATIVA BIOLÓGICA PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS AGROECOSISTEMAS DE PRADERAS EN EL CARIBE COLOMBIANO

MYCORRHIZAL ARBUSCULAR FUNGI: A BIOLOGICAL ALTERNATIVE FOR SUSTAINABLE OF GRASSLANDS AGROECOSYSTEMS IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN

PEREZ, C. ALEXANDER^{1*} Dr., ROJAS, S. JOHANNA² M.Sc., MONTES, V. DONICER¹ Mestrando

¹ Universidad de Sucre, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo Bioprospección Agropecuaria. ² Universidad de Sucre, Facultad de Educación y Ciencias, Grupo Bioprospección Agropecuaria. Correspondencia *: alexander.perez@unisucre.edu.co

Recibido: 16-06-2011; Aceptado: 16-09-2011

Resumen

En los últimos años ha despertado interés las interacciones entre plantas y hongos, especialmente con micorrizas arbusculares. Las micorrizas representan las asociaciones simbióticas entre las plantas y hongos basada sobre el intercambio de metabolitos y nutrientes. Más del 95 % de las plantas embriofitas son capaces de formas simbiosis con micorrizas. Tanto los hongos como las plantas tienen distribución universal, presentándose de esta manera ecotipos adaptados a condiciones diversas y extremas. Es de señalar que las plantas y las micorrizas tienen un origen común. Las micorrizas arbusculares están ampliamente distribuidas en condiciones naturales, se encuentran en todos los continentes, excepto en la Antártida; se dan en todos los suelos, incluyendo los de minas abandonadas, suelos agrícolas, suelos de pantanos y en hábitat acuáticos. Los suelos poseen naturalmente una diversidad de especies de micorrizas, que pueden colonizar las raíces de la mayoría de las plantas cultivadas, independientemente de las condiciones ambientales, mejorando así el suministro de nutrientes, crecimiento y producción de las plantas hospederas especialmente en condiciones de nutrientes deficientes.

Palabras claves: micorrizas, sostenibilidad, ecosistema, pastura.

Abstract

In recent years interest has sparked the interactions between plants and fungi, especially arbuscular mycorrhizae. Mycorrhizae represent symbiotic associations between plants and fungi based on the exchange of metabolites and nutrients. Over 95% of embriofitas plants are capable of forming with mycorrhizal symbiosis. Both plants and fungi occur worldwide, thus presenting ecotypes adapted to different conditions and extreme. It is noteworthy that the mycorrhizal and plants have a common origin. Arbuscular mycorrhizas are widespread in natural conditions, are found in every continent except Antarctica, occur in all soils, including abandoned mines, agricultural soils, wetland soils and aquatic habitats. Soils naturally possess a diversity of mycorrhizal species that can colonize the roots of most crop plants, regardless of environmental conditions, thereby improving nutrient supply, growth and production of host plants especially in poor nutrient conditions.

Key words: mycorrhizae, sustainability, ecosystem, grazing.

Introducción

La microbiota del suelo juega un papel fundamental en la regulación de los ecosistemas terrestres, influyendo en la productividad, diversidad y estructura de las comunidades vegetales (VAN DER HEIJDEN *et al.*, 2008). La materia orgánica es descompuesta por la actividad de diferentes especies de bacterias y hongos que liberan los nutrientes al suelo, dejándolos disponibles para que sean nuevamente absorbidos por las plantas. La absorción puede ser directa a través de las raíces o indirecta a través de los microorganismos que forman simbiosis con las raíces (hongos formadores de micorrizas). Las micorrizas de tipo arbusculares representan entre el 5 a 50% de la biomasa de los microbios del suelo y son considerados como una comunidad biológica diversa y activa esencial para incrementar la sostenibilidad de los agroecosistemas, representando las simbiosis de mayor relevancia en los sistemas agroecológicos.

Micorrizas arbusculares (HMA)

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), son asociaciones ecológicamente mutualistas entre hongos del phylum Glomeromycota y la inmensa mayoría de la plantas (cultivadas y silvestres). Se trata de una simbiosis prácticamente universal, no sólo porque casi todas las especies vegetales son susceptibles de ser micorrizadas sino también porque puede estar presente en la mayoría de los hábitats naturales. Las micorrizas son tan antiguas como las

propias plantas y se conoce su existencia desde hace más de 400 millones de años (REMY *et al.*, 1994); estimándose que aproximadamente el 95% de las especies vegetales conocidas establecen de forma natural y constante este tipo de simbiosis con hongos del suelo (CORWELL *et al.*, 2001, TANG *et al.*, 2001, STRULLU y STRULLU, 2007, MIRANSARI *et al.*, 2009).

Aunque la importancia de la simbiosis planta-hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) es reconocida a nivel mundial, existen algunos aspectos sobre la estructura y función de las comunidades en agroecosistemas tropicales que no han sido estudiados. En Colombia, la mayor parte de los estudios han estado relacionadas con los beneficios de la simbiosis en diferentes hospederos, especialmente en aspectos de productividad, nutrición vegetal y sustitución de fertilizantes, lo cual ha permitido determinar el potencial de uso de estos microorganismos en sistemas de producción convencional o en sistemas de producción limpia (REY *et al.*, 2005). La diversidad de HFMA ha sido estudiada a diferentes niveles jerárquicos, sin embargo, se desconoce el papel de esta diversidad en el establecimiento de simbiosis efectivas con diversas especies de pasturas. Es importante considerar que las comunidades de HFMA son dinámicas en el tiempo, y pueden ser moduladas por características del suelo (físicas, químicas y biológicas) y por aspectos climáticos, que en el caso del trópico colombiano están asociados a la altitud.

Diversidad de HMA.

Tradicionalmente los estudios taxonómicos de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se han basado en la morfología y apariencia de las esporas. Numerosas familias y géneros han sido distinguidos fundamentalmente por la unión de la hifa y el modo de formación de la espora, mientras que la subestructura de las paredes de las esporas jugó un papel importante en la identificación de las especies. Desde principios de la década pasada, los HMA han sido objeto de investigaciones basadas en el ADN a través de la reacción en cadena de la polimerasa (*PCR*), donde uno de los aspectos a tratar es el concerniente a la filogenia y taxonomía de estos organismos, así como su identificación y monitoreo en el suelo (RODRIGUEZ *et al.*, 2009). SCHÜBLER *et al.*, (2001), propone la siguiente clasificación taxonómica actual de los HMA.

Dominio: Eukarya
Reino: Fungi
División: Glomeromycota
Clase: Glomeromycetes
Orden:

	Familia
Archeosporales	Archaeosporaceae y Geosiphonaceae
Diversisporales	Acaulosporaceae, Diversisporaceae y Gigasporaceae
Paraglomales	Paraglomaceae
Glomerales	Glomeraceae, Glomus-grupo A y Glomus tipo B

Estudios realizados sobre aislamiento, identificación y determinación del porcentaje de colonización de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), asociados a la rizósfera del pasto *Dichanthium aristatum* Benth, de fincas ganaderas del municipio de Tolú-Colombia, reportó la presencia de 25 morfotipos con características similares a HMA. Los resultados obtenidos mostraron que el 92% de las especies encontradas correspondieron a características de HMA similares al género *Glomus*, el 4% al género *Gigaspora* y el 4% restante a *Paraglomus* (PÉREZ y PEROZA, 2011).

En otro trabajo con HMA asociada a la especie de pasto colosoana de fincas ganaderas del municipio de Corozal-Colombia, se identificaron 31 morfotipos de HMA, del total aislado, un 96.9% correspondieron a morfotipos con características similares a especie dentro del género *Glomus* y 3.1% a *Gigaspora* (PÉREZ *et al.*, 2010).

Ventajas de las micorrizas en los agroecosistemas

En los ecosistemas y agroecosistemas, los HMA, son de gran importancia debido a que mediante la simbiosis las plantas pueden obtener nutrientes minerales del suelo, mejorar su tolerancia a estreses bióticos y abióticos, reducir competencia entre plantas mediante la transferencia de carbono a través de la red de hifas extraradical (SIMARD *et al.*, 1997; SIMARD y DURALI, 2004) y modular la diversidad y productividad de plantas (VAN DER HEIJDEN *et al.*, 1998). Dado que la simbiosis es un proceso recíproco planta-hongo, es importante conocer también

el papel de la comunidad de plantas en la estructura y diversidad de la comunidad de HFMA (BURROWS y PFLEGER, 2002).

Los beneficios de la simbiosis en el hospedero se observan en supervivencia, productividad (cantidad y calidad) (GOVERDE *et al.*, 2000), morfología de planta y capacidad reproductiva (XIAOHONG y KOIDE, 1994). Diferencias en crecimiento micelial y estrategias de toma de fósforo observadas entre especies de HFMA pueden jugar un papel importante (SMITH *et al.*, 2000), y podría incluso significar que una amplia diversidad de HFMA, puede estar relacionada con un incremento en la eficiencia de extracción de nutrientes y por lo tanto en los beneficios al hospedero (KERNAGHAN, 2005) y explicaría la presencia de diversos HFMA en suelos y en raíces (LODGE, 2000).

La fisiología de la planta micorrizada cambia completamente cuando se asocia al hongo. Mediante el micelio externo, el contacto entre las raíces y el medio se incrementa considerablemente. La inoculación con hongos formadores de micorrizas son conocidos por incrementar el crecimiento de muchas especies de plantas. Es atribuido un incremento en la toma de nutrientes, especialmente los de difusión limitada tales como: P, Zn, Cu, etc.; producción de sustancias promotoras de crecimientos, tolerancia a estrés hídricos; salinidad, estrés por trasplante; resistencia a plantas por fitopatógenos e interacción sinérgica con otros microorganismos benéficos del suelo (AZCÓN y BAREA, 1996; BOBY, *et al.*; 2008).

Las plantas micorrizadas crecen mejor que las no micorrizadas en suelos infértiles, por producir un incremento en la nutrición mineral a través de las hifas, quienes ayudan a explorar un mayor volumen de suelo que los pelos radiculares de las mismas plantas (RAJAN *et al.*, 2000). El incremento en la nutrición mineral aumenta los contenidos de clorofilas y como consecuencia una alta tasa fotosintética (BIAN *et al.*, 2001; FENG *et al.*, 2002). Los HMA interactúan con una amplia diversidad de microorganismos del suelo en las raíces, en la rizosfera y en la masa del suelo. La interacción puede inhibir o estimular, aunque estos hongos no pueden fijar biológicamente el nitrógeno atmosférico, incrementan la fijación de este compuesto porque interactúan positivamente con los fijadores de nitrógenos (BAREA *et al.*, 1992). Combinación de inoculación de hongos micorrízicos con microorganismos solubilizadores de fosfatos produce una mayor absorción de nitrógeno y fosforo e incrementa la producción de las plantas en suelos deficientes con nutrientes (SINGH y KAPOOR, 1999).

Factores que afectan la colonización de micorrizas en campo

Entre los múltiples factores bióticos y abióticos que afectan la composición de las comunidades de HMA, la estructura de la comunidad de plantas es determinante debido a su preferencia por HMA (KERNAGHAN, 2005). Los compuestos que permiten el reconocimiento planta-hongo y estimulan la germinación de esporas y crecimiento y ramificación de las hifas, incluyendo flavonoides (VIERHEILIG y PICHÉ, 2002), strigolactona (AKIYAMA *et al.*, 2005) y auxinas (PODILA, 2002), son exudados por las raíces de las plantas (GIANINAZZI-PEARSON *et al.*, 1989, AKIYAMA *et al.*, 2005), lo cual puede de alguna manera controlar la preferencia planta-hongo (HORAN y CHILVERS, 1990).

La estructura y función de comunidades de micorrizas también puede variar con la edad de la planta, especialmente en especies perennes o semiperennes, y se ha encontrado, empleando métodos moleculares de evaluación, que los HMA dominantes en plántulas recién germinadas de especies forestales tropicales eran reemplazadas por otros tipos de HMA al realizar evaluaciones un año más tarde, más aún, plantas de diferentes edades en un mismo sitio, presentaban diferentes comunidades de HMA asociadas a ellas (HUSBAND *et al.*, 2002). Otros factores que pueden afectar positiva o negativamente la estructura y diversidad de comunidades de HMA son las poblaciones de otros microorganismos de suelo (GARBAYE, 1994), las prácticas agrícolas como la tala de bosques, fuego, fertilización y labranza (JANSA *et al.*, 2003) y en forma indirecta el microclima y la topografía que afectan a las comunidades de plantas y por tanto afectan a las comunidades de HFMA (KERNAGHAN, 2005).

Entre los factores abióticos, las condiciones del suelo han mostrado ejercer un control en las comunidades de (JOHNSON *et al.*, 1992). Los cambios permanentes en el ambiente edáfico son un reflejo del dinamismo existente y se observa en parámetros como humedad, temperatura y disponibilidad de nutrientes, debido a condiciones naturales o al efecto de las prácticas culturales para mejorar la productividad de cultivos; adicionalmente el suelo puede sufrir procesos de degradación y contaminación con sustancias químicas tóxicas para plantas y micro-organismos (ENTRY *et al.*, 2002). En estas condiciones la formación y función de HMA puede verse afectada, encontrándose que el ambiente del suelo puede favorecer el desarrollo de HMA en un momento y reducirlo en otro, bien por efectos directos sobre las comunidades de HMA o en forma indirecta por sus efectos sobre la planta hospedera (AUGÉ, 2000).

Estudios han mostrado que el déficit de humedad (-1,5 a -2,0 MPa) no afecta ni la colonización ni la toma de Pi por HMA (MING y HUI, 1999), aunque algunos estudios encontraron reducción en producción de esporas de *Acaulospora* y *Glomus* en maíz y sorgo (SIMPSON y DAFT, 1990). Plantas de trigo micorrizadas mostraron, bajo diversas condiciones de estrés hídrico, incremento en área foliar, biomasa radical y total y producción de grano (ELLIS *et al.*, 1985). En condiciones de campo, plantas micorrizadas sometidas a estrés hídrico muestran mejores respuestas a irrigación post estrés en producción y biomasa, que plantas no micorrizadas. Los mecanismos asociados al incremento en tolerancia al estrés hídrico de plantas micorrizadas están relacionados con el incremento en toma de agua por las hifas (Al-Karaki and Al-Raddad), alteración de niveles de hormonas que producen cambios en conductancia estomatal (DRÜGE y SCHÖNBECK, 1992), incremento en el turgor por reducción del potencial osmótico foliar (DAVIES *et al.*, 1993), mejoramiento nutricional del hospedero (JOHNSON y HUMMEL, 1985) y mejoramiento de la recuperación de la planta después del estrés manteniendo un continuo raíz-suelo (SWEATT y DAVIES, 1984).

Los efectos del exceso de agua de los suelos sobre HMA, no se han sido evaluados ampliamente, aunque se ha encontrado asociación micorrícica en plantas acuáticas y de zonas inundadas (DHILLION y AMPORN PAN, 1992) con excepción de aquellas pertenecientes a las familias Cyperaceae y Juncaceae. Algunas especies de plantas de zonas húmedas no presentan micorrización en épocas húmedas, pero pueden ser colonizadas en épocas secas (RICKERL *et al.*, 1994). Sin embargo, estudios comparativos han mostrado mayores tasas de colonización en suelos húmedos que en suelos muy secos o inundados (MILLER, 2000), aunque el número de esporas no se reduce bajo condiciones de inundaciones largas, indicando que el efecto de la inundación puede afectar más al hospedero que al HMA (MILLER y SHARITZ, 2000).

Los rangos de temperatura del suelo para la formación de la simbiosis pueden variar entre 18 y 40°C, con un óptimo cercano a los 30°C (MATSUBARA y HARADA, 1996). Se ha observado que la combinación humedad - temperatura del suelo tienen mayor efecto en la colonización (BRAUNBERGER *et al.*, 1997), encontrándose rangos óptimos para algunos géneros de HFMA (MATSUBARA y HARADA, 1996).

El pH influye sobre la solubilidad del fósforo, y sobre solubilidad y disponibilidad de otros elementos hacia las raíces de las plantas en el suelo, incluyendo hierro,

manganeso, cobre, zinc y cantidades tóxicas de aluminio (SAFIR y DUNIWAY, 1991). Altos niveles de fósforo en el suelo pueden inhibir la infección y el crecimiento de la plantas. Los efectos del fósforo en el suelo pueden deberse a otros factores como: tipo de suelo, pH y niveles de nitrógeno. Las respuestas de los HMA al pH del suelo son variables (CLARK *et al.*, 1999^{a,b}), encontrándose respuestas positivas de algunos HMA en pH ácidos y de otros en pH alcalino, así como respuestas positivas (CLARK *et al.*, 1999^{a,b}), negativas o neutras (GUZMAN-PLAZOLA *et al.*, 1988) al encalamiento. El efecto del pH puede estar relacionado con la disponibilidad de Pi, lo cual puede afectar la función del HMA, aunque se considera que los HMA pueden tolerar condiciones adversas de pH por modificación de la micorrizósfera durante el proceso de toma de nutrientes. En general, se considera que los HMA se adaptan al pH del suelo de su origen y por ello se puede convertir en un factor limitante para el establecimiento de HMA (SYLVIA *et al.*, 1993).

El efecto de la compactación del suelo se refleja en características del suelo como la estructura, porosidad, potencial hídrico, susceptibilidad a la erosión y crecimiento de la planta, especialmente del sistema radicular (HORN y LEBERT, 1994) con cambios en longitud de raíz, peso seco, toma de Pi y capacidad de formación de micorriza con *Gigaspora margarita*, que se refleja en el crecimiento de *Cajanus cajan* (YANO *et al.*, 1998). Los suelos compactados reducen la fertilidad del suelo y la distribución de las raíces de las plantas y de las hifas de las micorrizas arbusculares en la rizosfera (JEFFRIES y BAREA, 1999). Otro factor físico que afecta el funcionamiento de las micorrizas arbusculares, es la intensidad del pastoreo producidos por animales herbívoros. Encontraron que tres especies de pastos, sometidas a defoliaciones, responden diferentemente con respectos a los cambios en la dinámica de micorrización. En *Digitaria* y *Lolium* la colonización disminuyó, pero la cantidad de hifas en el suelo no fue afectada. De otra parte *Themeda*, quien es susceptible al pastoreo, no mantiene cantidades de hifas en el suelo después de la defoliación (JEFFRIES y BAREA, 1999).

La materia orgánica es uno de los parámetros del suelo que afecta la composición de HMA, así como también el pH, los niveles de nutrientes y los contenidos de fenoles (HOBBIE, 1992). Estudios realizados en suelos de ácidos de Colombia han mostrado una correlación positiva entre abundancia y diversidad de HMA, especialmente de los géneros *Acaulospora*, *Scutellospora* y *Entrophospora*, mientras que el pH del suelo presenta una correlación positiva con número total de esporas y número de espora del género *Glomus*, y correlación negativa con el número de esporas de los géneros *Entrophospora* y *Gigaspora* (SERRALDE y RAMÍREZ, 2004).

Los altos niveles de nitrógeno en el suelo tienen efectos negativos sobre el desarrollo de las micorrizas arbusculares y la estimulación del crecimiento en las plantas, estos efectos pueden ser también influenciados por la disponibilidad del fósforo en el suelo. Los altos y bajos niveles de fósforo y la fertilización nitrogenada disminuyen el porcentaje de infección de las micorrizas, mientras que niveles moderados de P incrementa los niveles de nitrógeno y la infección por estos hongos (SAFIR y DUNIWAY, 1991). La aplicación de estiércol y otras fuentes de materia orgánica influye sobre la estructura, pH, la cantidad de nutrientes y la retención de humedad en el suelo, todo esto influye directa o indirectamente sobre la eficiencia y el desarrollo de las micorrizas. La aplicación de fertilizantes orgánicos y materia orgánica (estiércol de bovino), incrementan la cantidad de micelios y la esporulación de las micorrizas arbusculares en el suelo (JEFFRIES y BAREA, 1999).

PEREZ y FUENTES (2009), encontraron que en el proceso de modelación logística de la densidad poblacional de HMA en función de parámetros físico-químicos; los factores que mejor explican el fenómeno de la esporulación de hongos formadores de micorrizas asociados en rizósfera de pasto colosoana fueron el pH y el Potasio.

Estudios realizados por PÉREZ y PEROZA, (2010), para establecer relación entre el proceso de esporulación y colonización de HMA asociados al pasto angletón en función a factores físico-químico y de salinidad de los suelos de fincas ganaderas del municipio de Tolú-Colombia, determinaron varios modelos matemáticos para predecir dichos procesos. Los resultados obtenidos a través de modelos matemáticos construidos para densidad poblacional de esporas de HMA en función de parámetros físico-químicos, indican que la abundancia de esporas de HMA en los suelos está directamente relacionada a la concentración de los elementos intercambiables de magnesio (Mg), sodio (Na) y de los valores de densidad aparente (Da) e inversamente relacionada a los valores de Cobre (Cu) y Manganeso (Mn). La colonización de HMA está directamente relacionada a los valores de los elementos intercambiables de potasio (K) y sodio (Na), de zinc (Zn) y del porcentaje de hidrogeno en los suelos e inversa a los valores de los elementos de Ca y Mg intercambiable.

Mientras que los modelos matemáticos construidos para densidad poblacional de esporas de HMA en función de salinidad, indican que la salinidad interfiere directamente con el número de espora de esporas de HMA en los suelos en presencia de parámetros como pH, SO_4 , magnesio (Mg), sodio (Na), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y el porcentaje de sodio en partes por mil ($S/_{00}$) e

inversamente relacionada a la conductividad eléctrica (CEE) y la colonización de estos HMA en raíces está directamente relacionada a los valores de los elementos intercambiables de potasio (K) y sodio (Na), de zinc (Zn) y del porcentaje de hidrogeno en los suelos e inversa a los valores de los elementos de Ca y Mg intercambiable (PÉREZ y PEROZA, 2010).

Al relacionar parámetros físico-químicos en las fincas ganaderas del municipio de Corozal con relación al porcentaje de colonización de HMA asociadas a raíces del pasto colosoana, mediante el análisis de componentes principales, se observó que aquellas fincas que presentan valores alto de Magnesio (20.5 meq/100g), Calcio (32.2 meq/100g), Potasio (1.3 meq/100g) registran los menores porcentajes de colonización. Mientras que en otras fincas presentan altos porcentajes de colonización cuando se dan contenidos moderados de Fosforo (18.94 ppm), Nitrógeno (0.03%), valores muy bajos de Sodio (1.7 meq/100g) y pH medianamente alcalino (7.8) (PÉREZ y VERTEL, 2010).

Eficiencia de micorrizas arbusculares en pasturas tropicales.

Estudios realizando sobre el beneficio de las micorrizas arbusculares sobre la producción de materia seca y la composición química en especies forrajeras, resaltan la eficiencia de estos hongos en función a la especificidad, el porcentaje de infección, época del año (lluviosa o seca), tipo de suelo, fertilización y la dependencia (JEHNE, 1991). En *Brachiaria decumbens* se encontró que el porcentaje de infección y el número de esporas de los géneros *Gigaspora* y *Glomus* son afectados por la estación, siendo mayores en la época lluviosa en países como Brasil. Resultados similares fueron reportados por SAFIR (1984) en los Llano Orientales de Colombia en varias especies forrajeras, quien demostró que altos niveles de fósforo tienden a disminuir la infección y los bajos la estimulan (MIRANDA, 1981).

Fue estudiada la frecuencia e intensidad de infección de micorrizas arbusculares en gramíneas y leguminosas herbáceas y arbustivas en dos suelos del Brasil. De las 43 gramíneas estudiadas, *Brachiaria ruzizensis*, *B. brizantha* y *Digitaria decumbens* presentaron mayores porcentajes de infección con micorrizas (ALMEIDA *et al.*, 1985). Evaluación de la eficiencia de especies de micorrizas arbusculares asociadas a las pasturas: *Andropogon gayanus*, *Brachiaria sp*, *Panicum máximum*, presentes en un suelo oxisol deficiente, mostró que las especies de micorrizas *Glomus manihotis* y *Entrophospora colombiana* son las más efectivas en diferentes concentraciones de los elementos minerales de

nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). En bajos niveles de P casi todas las especies de pastos dependieron altamente de las micorrizas. A niveles altos de P en los mismos suelos, especies de leguminosas forrajeras fueron más dependientes que las gramíneas (HOWELER *et al.*, 1985).

Experimentos realizados sobre la dependencia de micorrizas en 24 especies de pastos forrajeros tropicales, reportó que *Brachiaria decumbens* y *B. brizantha* son las especies más dependientes, mientras que *Panicum maximum* es la menos dependiente. Todo esto indica que las gramíneas tropicales son igual o más dependientes de las micorrizas que las especies de leguminosas cuando crecen en suelos de baja fertilidad. En un ensayo realizado en suelo oxisol en los Llanos Orientales, estación de Carimagua en invernadero y en campo, con inoculación de micorrizas arbusculares para evaluar el grado de absorción de nutrientes, se encontraron diferencias entre especies de *Stylosanthes sp*, *Centrosema sp*, *Zornia sp* y *Brachiaria sp* con relación a la capacidad de establecer asociaciones micorrízicas y nodulaciones con cepas nativas (CIAT, 1985).

El efecto de la inoculación de pasturas *Brachiaria decumbens* y *B. dictyoneura* con micorrizas nativas e introducidas con o sin fertilización con respecto al suelo nativo (sin inoculación y sin fertilización), sobre el desarrollo, calidad nutricional y los contenidos de nutrientes en el tejido de las pasturas, número de esporas y porcentaje de colonización, encontró una mayor eficiencia con las cepas nativas con respecto a las micorrizas introducidas. *B. decumbens* presentó la mayor diversidad de los hongos formadores de micorrizas arbusculares (81.8%) y una mayor afinidad con el género *Glomus* (55.5%) (SALAMANCA, 1999).

Evidencias de cantidad de micelio de micorrizas arbusculares presentes en rizósfera de ecosistemas de pastos tropicales, mostraron una relación negativa entre cantidad de micelio y fertilidad del suelo y un efecto positivo sobre el contenido de nutrientes. Estos resultados sugieren que las asociaciones micorrízicas actúan como estabilizadoras del flujo de nutrientes en el ecosistema mediante gradientes edáficos, quienes a su vez compensan funcionalmente la gran variación en la fertilidad del suelo, hasta los estados nutricionales de las plantas, los cuales no fueron afectados por los diferentes estados nutricionales del suelo (JEFFRIES y BAREA, 1999).

Las micorrizas incrementan la tolerancia de las plantas al pastoreo por animales herbívoros, por un incremento en el suministro de nutrientes a las plantas huésped, los cuales estimulan el rebrote continuo de las pasturas después de las defoliaciones hechas. La diversidad de especies de micorrizas arbusculares decrece con el pastoreo moderado y alto a través de los años. Los resultados encontrados sugieren que la defoliación, por el pastoreo de animales herbívoros,

altera fuertemente el desarrollo de las reservas de las plantas para estimular fuertemente el desarrollo de la simbiosis. Los cambios en la composición de las especies de micorrizas y el decrecimiento en la diversidad con el pastoreo continuo, indican que la defoliación provoca la alteración del microambiente del suelo y como consecuencia disminución en la diversidad, pero esto a la vez conduce a que ciertas especies de micorrizas puedan adaptarse a las condiciones del pastoreo (AHN-HEUM *et al.*, 2001).

Conclusión

Las micorrizas arbusculares son un importante factor biológico dentro de la estructura y funcionamiento de los suelos e inciden sobre el comportamiento ecológico, productividad y composición de comunidades vegetales naturales, así como de cultivos agrícolas y plantaciones forestales. Los hongos formadores de micorrizas arbusculares deben ser considerados, entonces, como parte de la diversidad biológica de los suelos y deben ser incluidos tanto en los inventarios como en los análisis de la biodiversidad a nivel de ecosistemas y agroecosistemas.

La producción sostenible de pasturas en los trópicos es severamente limitada por la fragilidad de los suelos, siendo propensos a diversas formas de degradación. Hacer un mejor uso de los recursos biológicos en estos suelos puede contribuir a aumentar la sostenibilidad. Los hongos micorrízicos constituyen un recurso biológico importante en este sentido. Su contribución a la química biológica, y la calidad física del suelo ha sido reconocida, aunque aún quedan muchas preguntas de cómo gestionar de forma óptima estos hongos benéficos. Más información fundamental y estudios estratégicos dirigidos a la influencia de las micorrizas sobre las praderas, son necesarios.

Referencias

AHN-HEUM, E.; GAIL, W.; HARTNETT, D. 2001. Effect of ungulate grazer on arbuscular mycorrhizal symbioses and fungal community structure in tall grass prairie. *Mycología* 93 (2): 233 – 242.

AKIYAMA, K.; MATSUZAKI K.; HAYASHI, H. 2005. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* 435: 824-827.

ALLOUSH, G.; ZETO, S. K.; CLARK, R. 2001. Phosphorus source organic matter, and arbuscular mycorrhizal effects on growth and acquisition of chickpea grown in acidic soil. *Journal of plant nutrition* 23 (9):1351-1369. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904160009382105#preview>.

ALMEIDA, R. T.; DE FREIRE, V. F., VASCOCELOS, I. Infección de micorrizas vesículo arbuscular en gramíneas y leguminosas herbáceas y arbustivas en dos suelos del Estado de Ceara. *En: Ciencias Agronómicas* 16(1), 1985, p. 69-73.

AUGÉ, RM. 2000. Stomatal behavior of arbuscular mycorrhizal plants. In: Kapulnik Y and Douds DD Eds. *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands 384 pp.

AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J. M. 1996. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza* 6(6): 457-464. <http://www.springerlink.com/content/xvru6ncvb0yv1rly/>.

BAREA, J.; AZCON AGUILAR C.; AZCON R. 1992. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in nitrogen fixing systems. In: Norris JR, ReadDJ, VarmaAK, editors. *Methods in Microbiology*. London: Academic Press;

BIAN, X.; HU, L.; LI, X.; ZHANG, F. 2001. Effect of VA mycorrhiza on the turfgrass quality and mineral nutrient uptakes. *Acta Prataculturae Sinica*. 10:42–46.

BOBY, V.; BALAKRISHNA A.; BAGYARAJ D. 2008. Interaction between *Glomus mosseae* and soil yeasts on growth and nutrition of cowpea. *Microbiological Research* 163: 693-700. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501306001285>.

BRAUNBERGER, P.G.; ABBOTT, L.K.; ROBSON, AD. 1997. Early vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization in soil collected from an annual clover-based pasture in a Mediterranean environment: soil temperature and timing of autumn rains. *Aust. J. Agric. Res.* 48:103-110.

BURROWS, R.L.; PFLEGER FL. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. *Canadian Journal of Botany* 80:120-130. <http://www.mendeley.com/research/arbuscular-mycorrhizal-fungi-respond-increasing-plant-diversity-2/>.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). Microbiología de suelos En: Programa de pastos tropicales, informe anual. Cali, Colombia, 1983. p. 205-239; 1984, p. 153-175; 1985, p. 216-250.

CLARK, CA.; ZETO, SK.; ZOBEL, RW. 1999a. Arbuscular mycorrhizal fungal isolate effectiveness on growth and root colonization of *Panicum virgatum* in acidic soil. *Soil. Biol. Biochem.* 31:1757-1763.

CLARK, CA.; ZOBEL, RW.; ZETO, SK. 1999b. Effects of mycorrhizal fungus isolates on mineral acquisition by of *Panicum virgatum* in acidic soil. *Biol. Fertil. Soil.* 9:167-196.

CORWELL W., BEDFORD B., CHAPIN C. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus poor wetland and mycorrhizal response to phosphorus fertilization. *American Journal of Botany*, 88 (10), p. 18-24.

DHILLION, S.S.; AMPORN PAN, L. 1992. The influence of inorganic nutrient fertilization on the growth, nutrient composition and vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of pretransplant rice (*Oryza sativa* L) plants. *Biol. Fertil. Soils* 3:85-91.

DRÜGE, U.; SCHÖNBECK, F. 1992. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on transpiration, photosynthesis and growth of flax-*Linum usitatissimum* L. in relation to cytokinin levels. *J. Plant Physiol.* 141:40-48

ELLIS, JR.; LARSEN, H.J.; BOOSALIS, MG. 1985. Drought resistance of wheat plants inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Plant Soil* 86: 369-378.

ENTRY, J.; RYGIWICZ, P.; WATRUD, L.; DONNELLY, P. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhizas-Advances in Environmental Research 7:123-138.

FENG, G., ZHANG, F.S., LI,X.L., TIAN,C. .,TANG,C., RENGEL, Z. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. Mycorrhiza 12,185–190.

GARBAYE, J. 1994. Helper bacteria - a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. New Phytol. 128: 197-210

GIANINAZZI-PEARSON, V.; BRANZANTI B.; GIANINAZZI, S. 1989. In vitro enhancement of spore germination and early hyphal growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus by host root exudates and plant flavonoids.Symbiosis 7:243-255.

GOVERDE, M.; VAN DER HEIJDEN, M.A.; WIEMKEN, A.; SANDERS, IR.; ERHARDT A. 2000. Arbuscular mycorrhizal fungi influence life history traits of a lepidopteran herbivore. Oecologia 125:362-369.
<http://www.springerlink.com/content/y9t9er9uw8dmwh1g/>.

GUZMAN-PLAZOLA, RA.; FERRERA-CERRATO R.; ETCHEVERS, JD. 1988. *Leucaena leucocephala*, a plant of high mycorrhizal dependence in acid soils. *Leucaena Res. Rep.* 9: 69-73.

HOBBIE, SE. 1992. Effects of plant species on nutrient cycling. *Trends Ecol. Evol.* 7:336-339.

HORAN, DP.; CHILVERS, GA. 1990. Chemotropism-the key to ectomycorrhizal formation? *New Phytol.* 116:297-301.

HORN, R.; LEBERT, M. 1994. Soil compactability and compressibility. In: Soon, S.D., Ouwerkerk, C.van. Eds., *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Publishers, Amsterdam, The Netherlands, pp. 45-69

HOWELER, R. H.; SIEVERDING, E. SAFIR, S. Aspectos prácticos de la tecnología de las micorrizas en algunos cultivos y pasturas tropicales. En: Plant and soil, 100(1), 1987, p. 249-283.

HUSBAND, R; HERRE, E.; YOUNG, J. 2002. Temporal variation in the arbuscular mycorrhizal communities colonizing seedlings in a tropical forest. FEMS Microbiology Ecology 42:131-136.

JEFFRIES, P., BAREA, J. Arbuscular Mycorrhiza a key component of sustainable plant – soil ecosystems. En: The mycota IX, fungol associations. Edition Hock, 1999. 113 p.

JANSA, J.; MOZAFAR, A.; KUHN, G.; ANKEN, T.; RUH, R.; SANDERS, IR.; FROSSARD, E. 2003. Soil tillage affects the community structure of mycorrhizal fungi in maize roots. Ecol. Appl. 13:1164-1176.

JEHNE, W. Endomicorrizas y productividad de pastos tropicales: Potencial para el mejoramiento y su racionalización práctica, citado por ESTRADA PINEDA J. Y ZULUAICA LONDOÑO, Carlos. Evaluación productividad de la micorriza *Glomus manihotis* en el pasto *Axonopus scoparius*, Trabajo de grado (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 1991. p. 13.

JOHNSON, C.R.; HUMMEL, RL. 1985. Influence of mycorrhizae and drought stress on growth of Poncirus x Citrus seedlings. Hort. Sci. 20:754-755.

JOHNSON, N.; TILMAN, D.; WEDIN D. 1992. Plant and soil controls on mycorrhizal fungal communities. Ecology 73: 2034-42.

KERNAGHAN G. 2005. Mycorrhizal diversity: Cause and effect? Pedobiologia 49: 511-520. http://faculty.msvu.ca/fungal_ecology/Public_Pdf/Mycorrhizal%20diversity-%20Cause%20and%20effect.pdf.

BAGYARAJ, JOSEPH. Ecology of vesicular – arbuscular mycorrhizae. En: ARORA, Dilip *et al*. Handbook of applied mycología soil and plants. Vol. 1. New York: Marcel Dekker Inc., 1991. p. 13 – 14.

LODGE, DJ. 2000. Ecto- or arbuscular mycorrhizas - which are best? *New Phytol.* 146:353-354. <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2000/lodg00a.pdf>.

MATSUBARA, Y.; HARADA, H. 1996. Effect of constant and diurnally fluctuating temperatures on arbuscular mycorrhizal fungus infection and growth of infected asparagus (*Asparagus officinalis* L) seedlings. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 65:565-570.

MILLER, SP. 2000. Arbuscular mycorrhizal colonization of semi-aquatic grasses along a wide hydrologic gradient. *New Phytol.* 145:145-155.

MIRANDA, J. C. Presencia de endomicorrizas nativas en suelo de cenado del distrito federal, e influencia en la absorción de fósforo por *Brachiaria decumbens* En: *Revista Brasileira de Ciencias do Suelo* 5 (2), 1981. p. 100-105.

MIRANSARI M., BAHRAMI HA., REJALI F., MALAKOUTI MJ. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* (L.) nutrient uptake. *Soil & Tillage Research.* 2009, 103:282–290.

PÉREZ, A.C.; BOTERO, LC.; CEPERO, M.C. 2010. Diversidad de micorrizas arbusculares en pasto colosoana de fincas ganadera del municipio de Corozal-Sucre.. *Revista MVZ* (En prensa, 2010).

PEREZ, A.; FUENTES, J. 2009. Regresión logística en la evaluación de la esporulación de micorrizas en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Rev. Colombiana cienc. Anim* 1(1):1-18. http://www.recia.edu.co/documentos-recia/4_Micorrizas_Perez&Fuentes.pdf.

PÉREZ, A.C.; PEROZA, V.C. 2011. Micorrizas arbusculares asociadas al pasto angletón en fincas ganaderas del municipio de Tolú, Colombia. *Revista MVZ* (En prensa, 2011).

PÉREZ, C.A.; VERTEL, M.M. 2010. Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Rev. MVZ Córdoba* 15(3):2165-2174. <http://www.unicordoba.edu.co/revistas/revistamvz/mvz-153/v15n3a4.pdf>.

PEROZA, C.V.; PEREZ, C.A. 2010. Efecto de parámetros físicos, químico y salinidad sobre la densidad poblacional y la colonización de micorrizas

arbusculares en pasto angletón en el municipio de Tolú, Sucre, Colombia. Rev. Colombiana cienc. Anim. 2(2):312-324. http://www.recia.edu.co/documentos-recia/vol2num2/A_7_ORIGINAL_MICORRIZAS_VICTOR.pdf.

RAJAN SK, REDDY BJB, BAGYARAJ, DJ. 2000. Screening of arbuscular mycorrhizal fungi for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis*. Forest. Ecol. Manage. 126:91–95.

REMY, W.; TAYLOR, T.N.; HASS, H.; KERP, H. 1994. Four hundred million year old vesicular arbuscular mycorrhizae. Proc Natl Acad Sci 91: 11841-11843. <http://www.pnas.org/content/91/25/11841.full.pdf+html>.

REY, AM.; CHAMORRO D.; RAMÍREZ M. 2005. Efecto de la doble inoculación de rizobios y micorrizas sobre la producción y calidad del forraje de *Leucaena leucocephala*. Revista Corpoica 6(2): 52-59

RICKERL, DH.; SANCHO FO.; ANANTH, S. 1994. Vesicular arbuscular endomycorrhizal colonization of wetland plants. J. Environ. Qual. 23: 913-916.

RODRÍGUEZ YAKELÍN, VAN TUINEN D., FERNÁNDEZ KALYANNE. Reclasificación taxonómica de dos cepas de hongos micorrízicos arbusculares. Cultivos Tropicales, 2009, vol. 30, no. 1, p. 31-35.

SALAMANCA SOLIS, C. Las micorrizas como estrategia de mejoramiento nutricional de pasturas y especies frutales en el departamento del Guaviare. En: Boletín Técnico CORPOICA No. 20, Noviembre, 1999; p. 1.

SAFIR, G. R. Respuesta de plantas forrajeras tropicales a las aplicaciones de roca fosfórica y micorrizas en un suelo oxisol no esterilizado. En: RICALDI, V. y ESCALERA, S. La roca fosfórica. Cochubamba, Bolivia, 1984, p. 309-327.

SAFIR, G. R., DUNIWAY, J. M. Evaluation of plant response to colonization by vesicular – arbuscular mycorrhizal fungi, environmental variables. En: SCHENCK, N. C. Methods and Principles of mycorrhizal research. Florida: Third printing, APS, Press, 1991. p. 78.

SCHÜBLER, A.; SCHWARZITT, D., WALKER. A new phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105 (12), 2001. p. 1413 – 1421.

SIMARD, SW.; PERRY, DA.; JONES, MD.; MYROLD, DD.; DURALL, DM.; MOLINA R. 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature* 388:579-582.

SIMARD, S.; DURALL D. 2004. Mycorrhizal networks: a review of their extent, function and importance. *Can J Bot* . 82:1140-65.

SERRALDE, AM.; RAMÍREZ, M. 2004. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Revista Corpoica* 5(1): 31-40.

SIMPSON, D.; DAFT, MJ. 1990. Interactions between water stress and different mycorrhizal inocula on plant growth and mycorrhizal development in maize and sorghum. *Plant Soil* 121:179-186.

SINGH S, KAPOOR KK. 1999. Inoculation with phosphate solubilizing microorganisms and a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. *Biol.Fertil. Soils*; 28:139–44.

SMITH, FA.; JAKOBSEN I.; SMITH SE. 2000. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. *New Phytol.* 147:357-366. <http://www.jstor.org/pss/2588796>.

STRULLU-DERRIEN CH., STRULLU DG. Mycorrhization of fossil and living plants. 2007. *Systematic Palaeontology (Palaeobotany)*, 6: 483–494.

SYLVIA, DM.; HAMMOND, LC.; BENNETT, JM.; HAAS JH., LINDA SB. 1993. Field response of maize to a VAM fungus and water management. *Agron. J.* 85: 193-198.

SWEATT MR.; DAVIES, F.T. 1984. Mycorrhizae, water relations, growth, and nutrient uptake of geranium grown under moderately high phosphorus regimes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 109: 210-213.

TANG F., WHITE J., CHARVAT I. The effect of phosphorus availability on arbuscular mycorrhizal colonization of *typha angustifolia*. *En: Mycologia.* 2001. V. 93, n.6, p. 1042.

VAN DER HEIJDEN, M.A.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS I. 1998. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology* 79: 2082-2091. <http://www.jstor.org/pss/176711>.

VAN DER HEIJDEN, M.G.A., BARDGETT, R.D., VAN STRAALLEN, N.M., 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 11:296-310.

VIERHEILIG, H.; PICHE, Y. 2002. Signaling in arbuscular mycorrhiza: facts and hypotheses. In: Manthey J, Buslig B, eds. *Flavonoids in the living system*. New York: Plenum Press.

XIAOHONG; L.; KOIDE, R. 1994. The effects of mycorrhizal infection on components of plant growth and reproduction. *New Phytol.* 128:211-218. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.1994.tb04004.x/pdf>.

YANO, K.; YAMAUCHI, A.; IJIMA M.; KONO, Y. 1998. Arbuscular mycorrhizal formation in undisturbed soil counteracts compacted soil stress for pigeon pea. *Appl. Soil. Ecol.* 10: 95-102