

HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES ASOCIADOS A PLANTAS DE *Zea mays* L. EN UN AGROECOSISTEMA DEL ATLÁNTICO, COLOMBIA

Carina P. Rodríguez-López¹, Alexis Navarro de León¹, Jorge W. Arboleda-Valencia¹, Arnubio Valencia-Jimenez², Roger H. Valle-Molinares^{1}*

¹ Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Atlántico, Colombia.

² Departamento de Producción Agropecuaria, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

* Autor para correspondencia: rogervalle@mail.uniatlantico.edu.co

Recibido: febrero 5 de 2014; aprobado: junio 9 de 2014

RESUMEN

El maíz es considerado uno de los más importantes cultivos a nivel mundial. Como en muchos otros países, Colombia ha utilizado este cereal no solo como alimento para humanos y animales sino también para fabricar diferentes productos industriales. Las plantas de maíz están bien adaptadas a las diferentes condiciones climáticas y agroecológicas de Colombia, lo cual le permite estar ampliamente distribuido en todo el país. Algunas de sus adaptaciones naturales son atribuidas a la existencia de relaciones simbióticas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), los cuales promueven la captación de nutrientes en especial de aquellos que tienen escasa movilidad tales como el fósforo (P) y el nitrógeno (N). Se identificaron HMA asociados a cultivos de maíz localizados en el municipio de Sabanalarga, Atlántico, Colombia. El número de esporas en 100 g de suelo se determinó mediante tamizado, siguiendo protocolos de centrifugación en sacarosa. El número de esporas por 100 g de suelo mostró diferencias estadísticas significativas durante los meses de muestreo ($p < 0,05$). Se identificaron un total de 19 morfotipos correspondientes a doce especies del género *Glomus*, cinco del género *Gigaspora* y una especie para los géneros *Acaulospora* y *Scutellospora*. Se encontró correlación negativa entre temperatura y número de esporas; sin embargo no existió correlación entre el pH y las variables densidad de esporas, porcentaje de colonización y temperatura del suelo. Asimismo, se reportó bajo contenido de materia orgánica (0,99 %) y baja capacidad de intercambio catiónico (7,50 cmol.kgr-1suelo). Estos resultados, sumados al hecho de que este tipo de cultivos son grandemente dependientes de la actividad de hongos micorrizógenos, explican la densidad de esporas (400-1350 esp/100 g) y el elevado porcentaje de colonización (40-98 %) que fue encontrado durante el muestreo. Es claro que este cereal depende de la presencia de hongos micorrizógenos durante la toma de nutrientes.

Palabras clave: simbiosis, cultivo de maíz, hongos, características edáficas.

ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ASSOCIATED TO *Zea mays* L. PLANTS IN AN AGROECOSYSTEM OF ATLÁNTICO, COLOMBIA

ABSTRACT

Corn is considered one of the most important cereal crops worldwide. As many other countries, Colombia has used this cereal not only to feed humans and animals but also to manufacture many different industrial products. Corn plants are well adapted in different climatic and ecological conditions in Colombia which allows it to be widely distributed throughout the country. Some of its natural adaptations are attributed to the existence of symbiotic relationships with Arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) which promote the nutrient uptake, especially those with known low mobility such as phosphorus (P) and nitrogen (N). AMFs associated to corn crops were identified in samples collected in the fields of the municipality of Sabanalarga (Atlántico, Colombia). The number of spores per 100 g of soil was determined by sieving following sucrose centrifugation standard protocols. The number of spores per 100 g of soil showed statistically significant differences during the months of sampling ($p < 0.05$). A total of 19 morphotypes, corresponding to twelve species of the genus *Glomus*, five of the genus *Gigaspora*, and one species of both genus *Acaulospora* and *Scutellospora* were identified. A negative correlation between temperature and number of spores was found but no correlation between pH and the spore density, percentage of colonization and soil temperature variables was found. Additionally, low organic matter content (0.99%) and low cation exchange capacity (7.50 cmol*soil-Kg-1) were reported. These results, in addition to the fact that this kind of crops are highly dependent of mycorrhizal fungi activity, explain the spore density (400-1350 spore/ 100 g) and the high percentage of colonization (40-98%) that were obtained during sampling. It is clear that this cereal crop depends on the presence of mycorrhizal fungi during nutrient uptake.

Key words: symbiosis, corn crop, fungi, soil characteristics.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta de origen americano, más exactamente de la región central del Este de México (Kato Yamakake *et al.*, 2009). Esta especie es cultivada desde el Ecuador hasta latitudes altas en ambos hemisferios y en regiones donde la actividad pluvial oscila entre los 400 mm y 3000 mm al año en suelos y climas variables (Alvarado, 2010). El cultivo de maíz es de gran importancia económica a nivel mundial, ocupando el tercer lugar en cuanto a producción detrás de los cultivos de arroz y trigo (Silva Castro, 2005). En Colombia este cereal es utilizado para consumo humano, animal e industrial; encontrándose ampliamente distribuido en todas las regiones del país dada su capacidad para adaptarse a distintas condiciones climáticas y agroecológicas por lo que puede aparecer en monocultivos o en asocio con otras plantas tales como frijol, ñame, arveja o alternándose con plantas de yuca (Martín & Rivera, 2009; Venegas, 2010).

El desarrollo vegetal de esta especie es afectado de manera positiva por ciertos grupos de microorganismos de ocurrencia natural en el suelo entre los que se encuentran los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA); los cuales establecen una asociación simbiótica con las raíces de la mayoría de las plantas vasculares presentes en ecosistemas naturales (terrestres y acuáticos) y en cultivos de interés agrícola de relevancia económica (Guerrero Forero & Azcon, 1996; Bashan *et al.*, 2007; Guadarrama-Chávez *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2008). Los HMA representan un gran beneficio para las plantas, ya que estos microorganismos ayudan a la captación de nutrientes en especial de aquellos de poca movilidad en el suelo (fósforo y nitrógeno), favoreciendo de esta manera el crecimiento y la producción vegetal (Montaño Arias *et al.*, 2001; Roveda & Polo, 2010).

En los últimos años el estudio del manejo de los HMA ha tenido gran importancia gracias a los beneficios que estos brindan a la mayoría de las plantas cultivadas (Alarcón & Ferrera-Cerrato, 1999). A nivel mundial son muchas las investigaciones que se han realizado con el fin de conocer mejor la biología, fisiología y ecología de los HMA. Estos estudios han sido fundamentales para optimizar el uso práctico de estos organismos como agentes que promueven el crecimiento de plantas entre ellas el maíz, el arroz, la soya y el trigo con el fin de aumentar la producción y disminuir de alguna manera la dependencia de fertilizantes químicos (Frank-Snyder *et al.*, 2001; Guadarrama-Chávez *et al.*, 2007; Peña-Venegas *et al.*, 2007) rastrojo joven, y praderas establecidas, a dos profundidades diferentes. Fue estudiada la presencia de HMA (riqueza y abundancia de esporas).

Con la incorporación de estos microorganismos al proceso productivo no solo se mejoran las condiciones nutricionales de las plantas al facilitar la captación de minerales y agua, sino también se mejora su capacidad de respuesta al ataque de agentes patógenos e insectos plaga. Lo anterior, constituye un aporte importante al modelo de agricultura sostenible para la región debido a que el cultivo de maíz representa una de las principales fuentes de ingresos para pequeños y medianos productores agrícolas del departamento del Atlántico (FENALCE, 2011). Esta investigación tuvo como objetivo caracterizar e identificar hongos formadores de micorrizas arbusculares asociados al cultivo de maíz con el fin de obtener cultivos con mayor producción en biomasa, rendimiento y supervivencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de muestreo

La investigación se llevó a cabo en la parcela La Esperanza situada en la reserva campesina

La Sierra (RCS), corregimiento La Peña, municipio de Sabanalarga, Atlántico, Colombia (Figura 1). La RCS está ubicada a $10^{\circ}35'43,7''\text{N}$ y $74^{\circ}59'81,5''\text{O}$; a una altitud de 172 msnm; mientras que la parcela La Esperanza se encuentra a $10^{\circ}35'06,7''\text{N}$ y $74^{\circ}59'38,3''\text{O}$, con una altitud de 69 msnm. La temperatura promedio anual en la zona es de $27,8^{\circ}\text{C}$, con una precipitación anual de 1021 mm y una humedad relativa que oscila entre 62 y 92 % por mes. El área de estudio tiene

características de bosque seco tropical (Bs-t), perteneciente a los Montes de María y Píojó, en la denominada región biogeográfica del Cinturón Árido Pericaribeño (Holdridge, 1967; Halffter, 1992). Para la ejecución de esta investigación se llevaron a cabo muestreos durante los meses de agosto a diciembre del año 2011, recolectando muestras de suelo rizosférico y raíces en cinco plantas de *Z. mays* escogidas al azar.

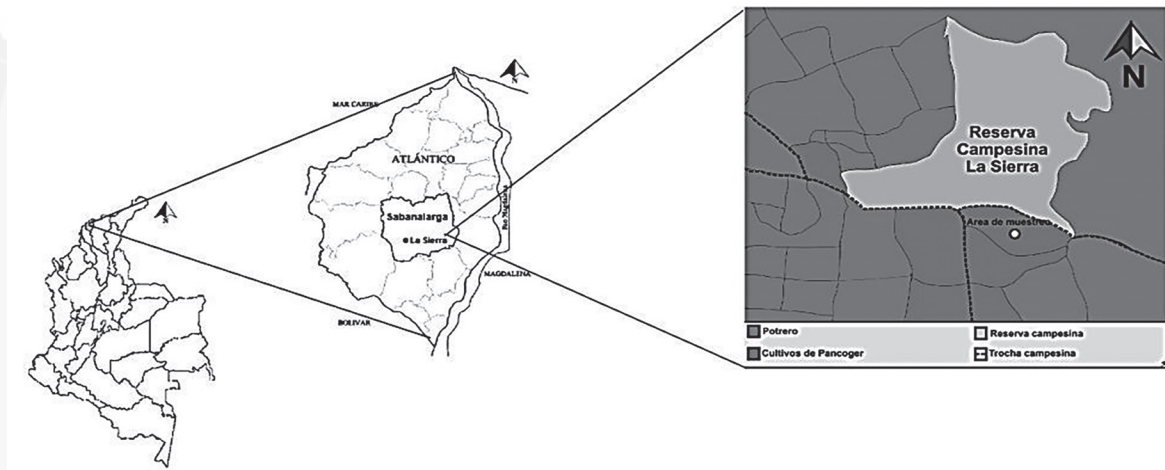


Figura 1. Localización de la reserva campesina La Sierra (RCS), Sabanalarga, Atlántico, Colombia.

Aislamiento y conteo de esporas

Para el aislamiento de esporas se utilizó el método de tamizado y centrifugación en sacarosa propuesto por Jenkins (1964), con algunas modificaciones. Para esto se pesaron 100 g de suelo y se resuspendieron en 100 ml de agua agitando mecánicamente con un rotor (MLW-MR 25) durante 30 min; posteriormente la mezcla se hizo pasar por una serie de tamices de $180\ \mu\text{m}$, $150\ \mu\text{m}$ y $38\ \mu\text{m}$ lavando con abundante agua. Las fracciones obtenidas en los tamices de $150\ \mu\text{m}$ y $38\ \mu\text{m}$ fueron lavadas y recogidas en un

Beacker; 5 ml de esta solución se transfirieron a un tubo de centrifugación de 10 ml, al cual se le agregó con una jeringa (al fondo del tubo) 5 ml de solución de sacarosa al 50 %, centrifugándose a 3500 rpm por 5 min. El sobrenadante obtenido se pasó por el tamiz de $38\ \mu\text{m}$ lavándose para recolectar las esporas en cajas de Petri (Figura 2). El conteo de esporas se realizó depositando 0,1 ml de la suspensión en una cámara Neubauer. Todos los conteos se efectuaron por triplicado con el fin de obtener un promedio del número de esporas presentes en 100 g de suelo.

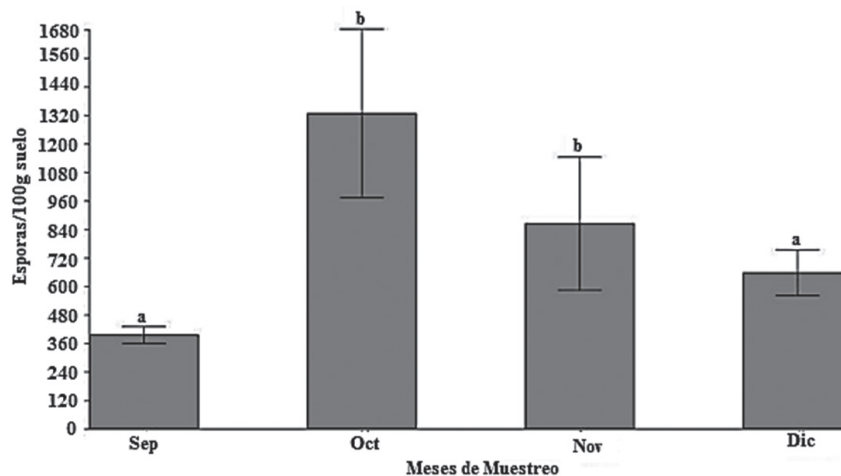


Figura 2. Densidad de esporas durante los meses de muestreo. Las barras representan los valores promedios con su respectivo error estándar. Letras distintas entre las barras indican diferencias estadísticas significativas, según la prueba de comparación de media.

Identificación de los HMA

Las esporas que lucían intactas fueron separadas y preparadas en laminillas con solución de PVL (alcohol polivinílico y ácido láctico) para su observación al microscopio. La identificación de los morfotipos de HMA a nivel de especie y género se realizó mediante la clave propuesta por Schenck & Pérez (1990) y la base de datos del INVAM (International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi) (2012).

Porcentaje de colonización

Las raíces obtenidas fueron teñidas empleando el método de Phillips & Hayman (1970), modificado por Vierheilig *et al.* (1998). Posteriormente se calculó el porcentaje de colonización radicular por medio de la fórmula propuesta por Sieverding (1983), la cual consistió en ubicar paralelamente 5 segmentos de raíz de aproximadamente 1 cm en portaobjetos. Sobre cada segmento de raíz se adicionaron entre 2 gotas de lactoglicerol para su observación al microscopio en objetivo de 100 x, realizando tres observaciones equidistantes por laminilla hasta completar 15 campos ordenadamente.

Análisis fisicoquímico del suelo

Para el análisis del suelo se tomaron muestras utilizando un tubo metálico de 30 cm de largo por 3 cm de diámetro interno, el cual se introdujo de manera vertical en el área cercana al tallo de la planta a una profundidad de 30 cm aproximadamente. Durante la recolección de la muestra se midió la temperatura *in situ* con la utilización de un termómetro de suelo. Luego las muestras se trasladaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad de Sucre para la determinación del contenido de fósforo mediante el método de Bray II, la textura del suelo por medio del método de Bouyoucos y pH en agua (1:1 P/V). Finalmente, los datos de precipitación necesarios para las correlaciones fueron suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2012).

Análisis de los datos

El cálculo de la riqueza de morfotipos de HMA durante los meses de muestreo se realizó a través de una matriz de presencia-ausencia. Las diferencias de la densidad de esporas entre los

meses de muestreo fueron estudiadas mediante un análisis de varianza (ANOVA), empleando igualmente la prueba de medias del test de Tukey con el fin de detectar diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). Para correlacionar las variables edáficas con la abundancia de esporas y el porcentaje de colonización se realizó un análisis de correlación de Pearson mediante el programa estadístico PAST 1.63 (Ryan *et al.*, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas y químicas del área de estudio

Las características físicas y químicas de los suelos del área de estudio se muestran en la Tabla 1,

siendo estos los principales factores que influyen en el desarrollo y fisiología de los HMA (Entry *et al.*, 2002). La textura franco arenosa de los suelos, asociada a niveles bajos de materia orgánica (MO) y capacidad de intercambio catiónico (CIC), así como también a la influencia de la temperatura propia de áreas tropicales favorecieron la esporulación de los HMA; propiciando una alta densidad de esporas y un alto porcentaje de colonización radicular en las plantas de maíz asociadas con el hongo. El pH ligeramente ácido es relevante en la disminución de los niveles de aluminio; lo cual mejora la CIC de los suelos y adicionalmente promueve el desarrollo de estos microorganismos (Entry *et al.*, 2002; Peña-Venegas *et al.*, 2007; Pérez & Vertel, 2010).

Tabla 1. Características físicas y químicas del área de estudio

DETERMINACIÓN	VALOR	VALORES MEDIOS
pH (Agua 1:1,P/V)	6,61 (Lig. ácido)	5,80-7,20
Materia orgánica (%)	0,99 (F)	2,0-4,0
Fósforo (mg.kg ⁻¹), Bray II	38,72(B)	15-30
CIC (cmol.kgr ⁻¹ suelo)	7,50(D)	10-20
Calcio (cmol.kgr ⁻¹ suelo)	2,00(F)	5-7
Magnesio (cmol.kgr ⁻¹ suelo)	1,33(F)	2-3
Potasio (cmol.kgr ⁻¹ suelo)	0,10(D)	0,2-0,4
Sodio (cmol.kgr ⁻¹ suelo)	0,80(C)	< 1,0
Textura (Bouyoucos)	A.F	Franco arenoso
Arena (%)	86,30	20-50
Arcilla (%)	5,96	20-60
Limo (%)	7,74	20-70

Conteo de esporas de HMA

Se cuantificaron un total de 3248 esporas durante todo el tiempo de muestreo, estableciéndose dos grupos (octubre-noviembre y septiembre-diciembre) con diferencias estadísticas significativas entre ellos; pero no dentro de ellos mismos ($p=0.0001$) (Figura 3). El número de esporas encontrado en este estudio es alto en comparación con los hallados en otras

investigaciones; en las cuales se han reportado valores más bajos para el ecosistema tropical (Serralde & Ramírez, 2004; Tapia-Goné *et al.*, 2008). La alta densidad de esporas registrada en esta investigación probablemente está relacionada con la presencia de plantas de yuca (*Manihot esculenta*) y de leguminosas (*Vigna unguiculata*) asociadas a los cultivos de maíz, lo que facilita una mayor esporulación de los HMA (Colozzi & Cardoso, 2000; Muleta *et al.*, 2008; Arias *et al.*, 2012).

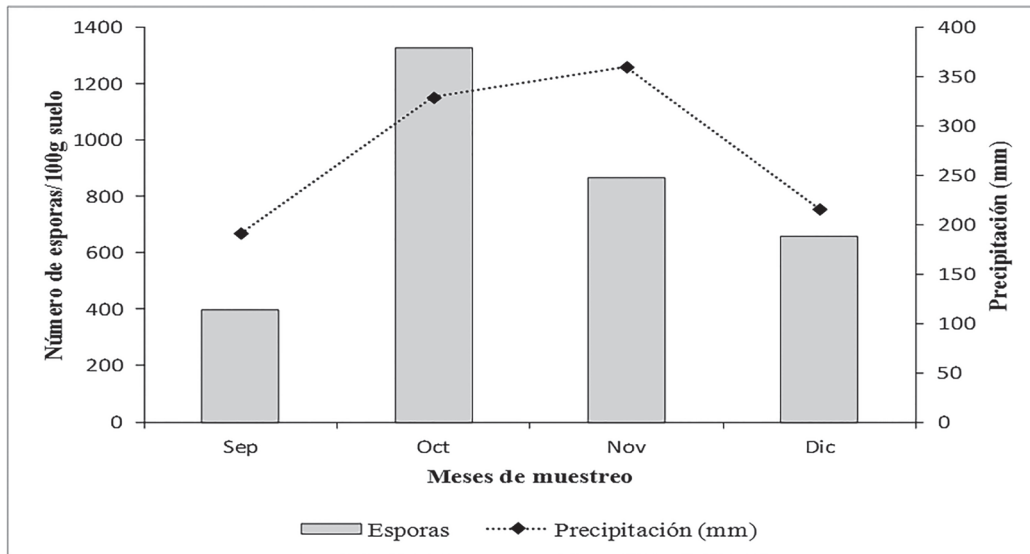


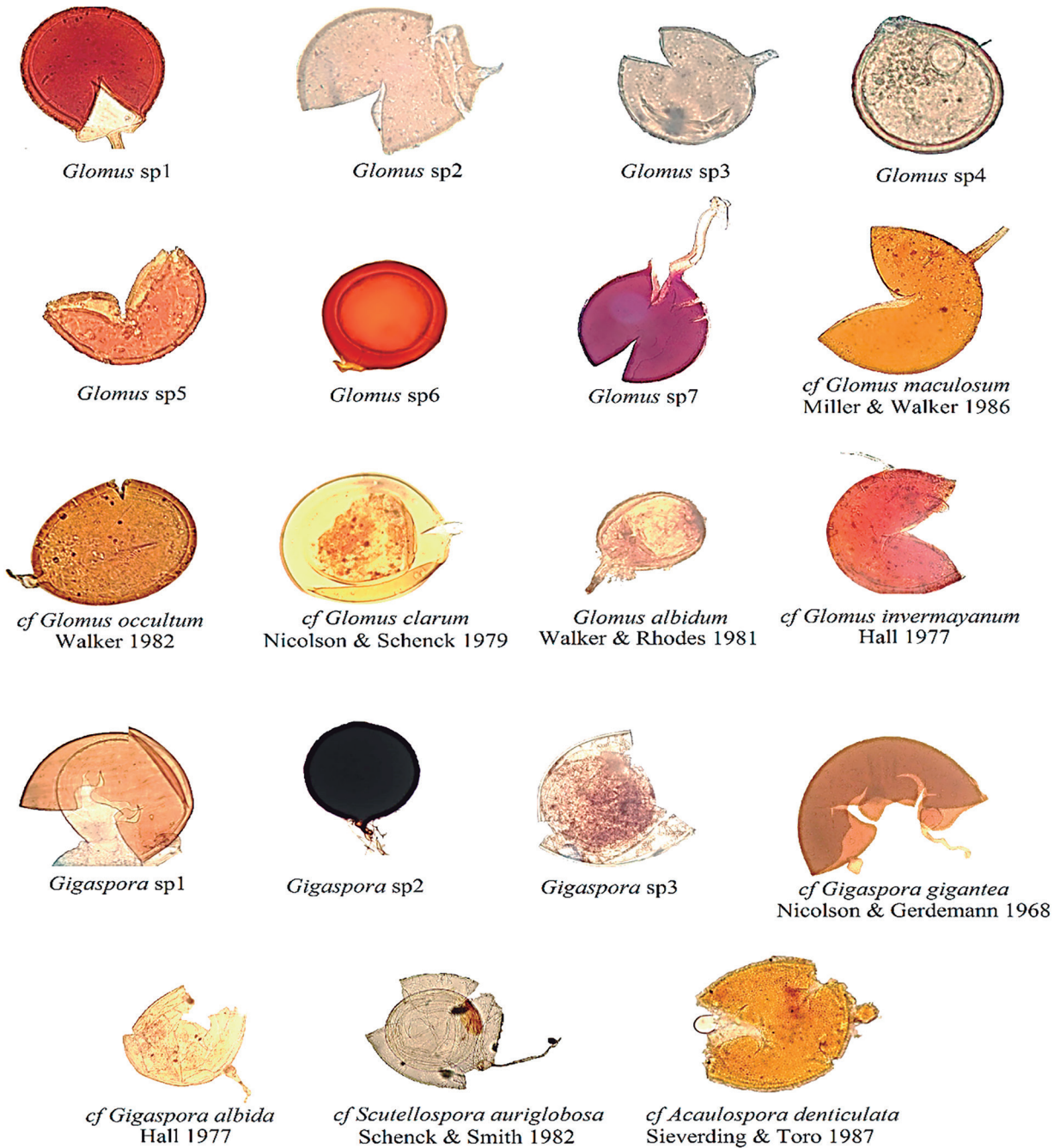
Figura 3. Análisis de correlación entre la densidad de esporas y las precipitaciones durante los meses de muestreo.

Adicionalmente, los resultados muestran una correlación positiva entre la densidad de esporas y las precipitaciones ($p=0,036$ y $r=0,525$); notándose que el mayor número de esporas se presentó para los meses de octubre y noviembre, meses con las más altas precipitaciones registradas (329-360 mm/mes, respectivamente). Por otra parte, las bajas precipitaciones durante los meses de septiembre (191 mm/mes) y diciembre (216 mm/mes) están asociadas a una disminución en la densidad de esporas (Figura 4). Se ha reportado que en ecosistemas tropicales la abundancia de esporas de HMA está mediada por las fluctuaciones en las lluvias (Moreira-Souza *et al.*, 2003; Picone, 2006; Vargas *et al.*, 2010). Resultados similares han sido reportados por Romero Martins *et al.* (1999), Camargo-Ricalde & Esperón-Rodríguez (2005), Nascimento de Oliveira *et al.* (2005), quienes encontraron que durante las épocas de altas precipitaciones se presenta una mayor densidad de esporas. Sin embargo, otros autores reportan una mayor esporulación durante las bajas precipitaciones (Lovelock *et al.*, 2003; Aguilar-Fernández *et al.*, 2009). Debido a estas diferencias

halladas, en cuanto a la influencia que ejercen las precipitaciones sobre la abundancia de esporas de HMA en los ecosistemas tropicales, se puede inferir que las lluvias no son el único parámetro que estimula la esporulación (Cuadros *et al.*, 2011) puesto que variables como la fisiología del hongo y de la planta también deben ser tenidas en cuenta para definir con mayor precisión este parámetro. Igualmente, se ha reportado que metabolitos secundarios liberados por la planta hospedera durante el reconocimiento de la simbiosis pueden incrementar la esporulación de los HMA (Nair *et al.*, 1991; Davies *et al.*, 2005; Cuadros *et al.*, 2011). Adicionalmente, algunas especies de HMA son fisiológicamente activas en ciertas épocas para realizar la esporulación; lo cual explicaría la variación en la densidad de esporas encontradas en esta investigación (Pringle & Bever, 2002).

Figura 4. Morfotipos de hongos micorrizógenos arbusculares encontrados en las plantaciones de maíz presentes en la parcela La Esperanza en la RCS.

Riqueza de morfotipos de HMA asociados a plantas de maíz



Se identificaron 19 morfotipos de HMA correspondientes a doce (12) especies del género *cf Glomus*, cinco (5) especies del género *cf Gigaspora*, una (1) especie del género *cf Acaulospora* y una (1) especie del género *cf Scutellospora* (Figura 5). El mayor valor de riqueza representada por especies del género *Glomus* puede estar relacionado a que este es uno de los géneros de mayor

distribución y adaptación a distintas condiciones edafoclimáticas y gran capacidad para sobrevivir a condiciones variables de pH tanto ácidos como alcalinos (pH=2,7-9,2). Lo anterior concuerda con lo reportado en otras investigaciones (Ho, 1987; Sánchez de Prager, 1999; Pande & Tarafdar, 2004; Serralde & Ramírez, 2004; Cardona *et al.*, 2008; Bi Iritié *et al.*, 2012).

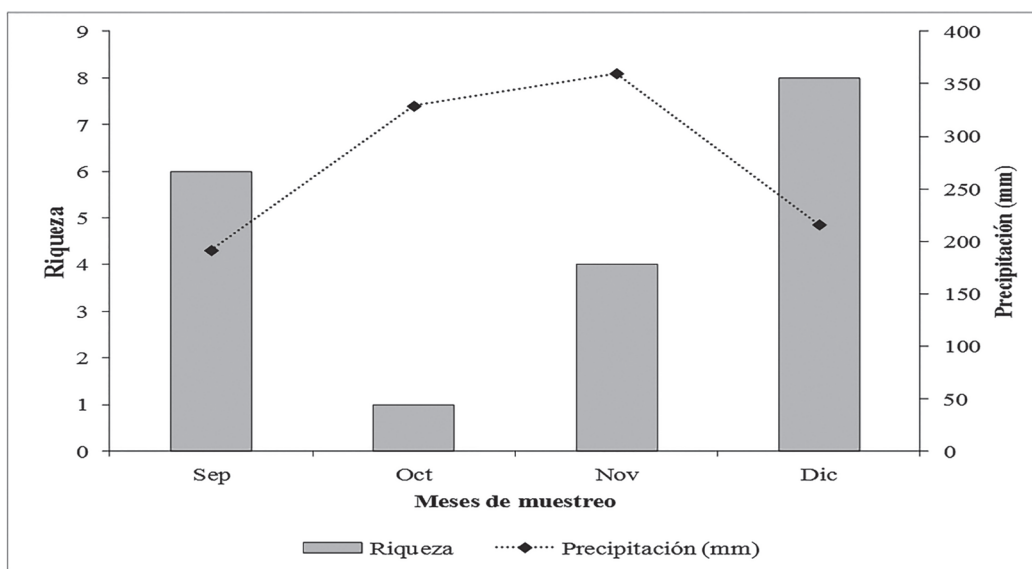


Figura 5. Riqueza de morfotipos de HMA con relación a las precipitaciones durante los meses de muestreo.

Los valores más altos de morfotipos se presentaron para los meses de septiembre y diciembre (6 y 8 morfoespecies, respectivamente), coincidiendo con los valores más bajos de precipitación (191 y 216 mm/mes). Por otra parte, durante los meses de octubre y noviembre las precipitaciones aumentaron (329 y 360 mm/mes) generando al parecer una tendencia a la disminución en la riqueza de morfotipos (1 y 4 especies, respectivamente) (Figura 6). Estas fluctuaciones en la riqueza de morfotipos durante los meses

de muestreo se relacionan a la capacidad que tienen algunas especies de HMA para realizar la esporulación en épocas distintas (Camargo-Ricalde, 2002). De igual forma se ha reportado que la riqueza de HMA en ecosistemas tropicales es afectada de manera directa por las variaciones estacionales del ecosistema, encontrándose que en época de alta precipitación se presenta una menor riqueza de especies con respecto a la época seca (Pringle & Bever, 2002; Lovelock *et al.*, 2003; Picone, 2006; Lovera & Cuenca, 2007).

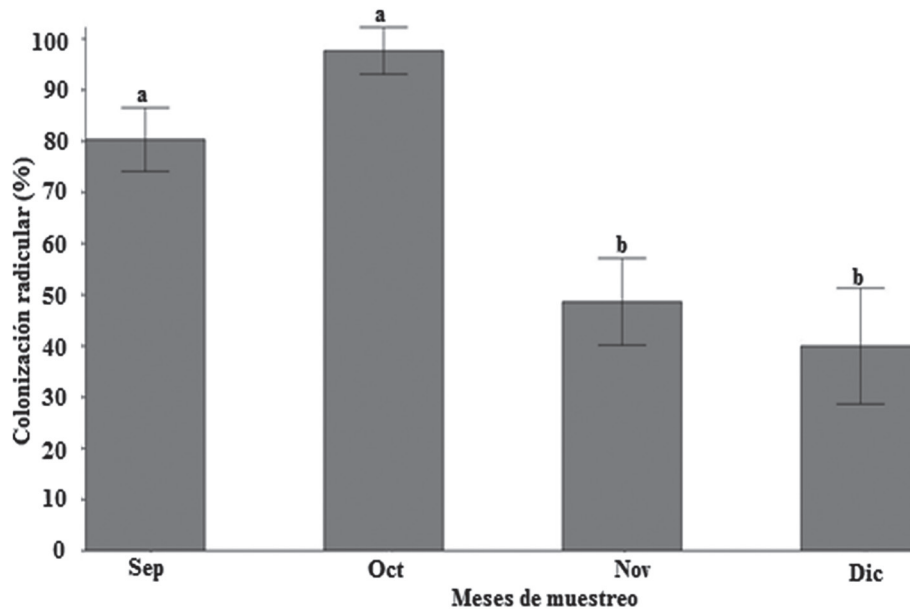


Figura 6. Porcentaje de colonización radicular durante los meses de muestreo. Los valores son promedios + error estándar. Letras distintas entre las barras indican diferencias estadísticas significativas, según la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$).

Porcentaje de colonización radicular

En el proceso de determinación del porcentaje de colonización radicular durante los meses de muestreo se observaron estructuras fúngicas tales como esporas, hifas y vesículas; lo cual indica que las plantas de maíz son capaces de formar asociación simbiótica con este tipo de microorganismos. Sin embargo, no se evidenció formación de arbuscúlos en los distintos períodos de muestreo; esto puede deberse a que dichas estructuras tienen un tiempo de vida corto con un promedio entre 4-15 días (Guerrero Forero & Azcon, 1996; Sánchez de Prager, 1999). Se encontró un alto porcentaje de colonización radicular durante los períodos de muestreo que puede estar relacionado con la asociación natural que presentaban las plantas de maíz con otras especies vegetales como yuca y frijol; especies vegetales que, según otras investigaciones, por ser micotróficas obligadas, estimulan el crecimiento y establecimiento de cepas nativas de HMA

(Sánchez de Prager, 1999; Kalinhoff *et al.*, 2009). Por otra parte, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre el porcentaje de colonización radicular durante los meses de muestreo ($p = 0,0003$), notándose un aumento durante los meses de septiembre y octubre (91 % y 100 %, respectivamente). No obstante, a partir de los dos últimos meses (noviembre y diciembre), se observó una reducción en el porcentaje de infección (63 % y 55 %, respectivamente). El aumento del porcentaje de colonización en los dos primeros meses puede estar asociado a la edad de las plantas y/o a la humedad del suelo, por lo que al estar en sus primeras etapas de desarrollo requieren un mayor costo energético durante la captación de agua y nutrientes (P y N); los cuales son elementos esenciales para la producción de frutos, permitiendo que se presentara una mayor dependencia a esta simbiosis (Sangabriel-Conde *et al.*, 2010). La disminución en el porcentaje de colonización radicular durante los dos últimos

meses probablemente está relacionado a que en dicho período la planta dependía menos de la simbiosis, en virtud de que la mayoría de nutrientes proporcionados por los HMA para la producción de frutos ya habían sido asimilados (Montaño Arias *et al.*, 2001).

Correlación entre la colonización radicular y densidad de esporas con las características físicas y químicas del suelo

Los datos de correlación de Pearson (r) mostraron una correlación negativa entre la temperatura del suelo con la densidad de esporas, notándose un incremento de esta última cuando la temperatura del suelo disminuía de 26 °C a 21,8 °C (Tabla 2). Igualmente, no se encontró correlación significativa con el pH del suelo y la densidad de esporas.

Tabla 2. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre la densidad de esporas y porcentaje de colonización con las características edafoclimáticas. Significancia estadística ($r = \geq 0,05$)

VARIABLES DE ESTUDIO CORRELACIONADAS	P	R
Densidad de esporas/precipitaciones	0,036	0,525
Densidad de esporas/temperatura del suelo	0,001	-0,797
Densidad de esporas/pH del suelo	0,100	-0,496
Colonización radicular/temperatura del suelo	0,191	-0,405
Colonización radicular/pH del suelo	0,204	-0,394
Densidad de esporas/colonización radicular	0,492	0,219

De acuerdo con estos resultados se puede inferir que la temperatura del suelo es un factor que favorece la densidad de esporas de HMA debido a que, según lo reportado por diferentes autores, la abundancia de esporas esta mediada por este parámetro (Guerrero Forero & Azcon, 1996; Bhardwaj *et al.*, 1997; Sánchez de Prager, 1999; Entry *et al.*, 2002). Es evidente que existen HMA que realizan la esporulación en rangos de 24 y 30 °C tal y como sucede con especies de los géneros *Glomus*, *Gigaspora* y *Acaulospora* (Schenck *et al.*, 1975; Schenck & Smith, 1982). La falta de correlación entre la densidad de esporas y el pH del suelo es una clara evidencia de que el número de esporas no siempre va a estar influenciado por este parámetro, ya que estos organismos muestran diferencias en sus respuestas y adaptación a distintas condiciones edafoclimáticas.

No se evidenció una correlación estadística entre el porcentaje de colonización radicular con el pH, la temperatura y el conteo de esporas (Tabla 2). El hecho de no encontrarse correlación entre el porcentaje de colonización radicular y la temperatura del suelo apoya los resultados encontrados por Entry *et al.* (2002), quienes reportan que esta variable puede afectar de distintas maneras al porcentaje de micorrización dado que el porcentaje de colonización radicular dependerá del tipo y estado de desarrollo de la planta hospedera.

Los resultados encontrados entre el porcentaje de colonización y la densidad de esporas fueron similares a los reportados por Merryweather & Fitter (1998), Khade & Rodrigues (2006), Cuervo & Rivas (2007), Becerra *et al.* (2009), Borde *et al.* (2010) arbuscular micorrizal (AM, quienes sustentan que un alto número de esporas

en el suelo no está necesariamente asociado a un incremento de colonización radicular. Sin embargo, muchos estudios han encontrado correlaciones entre estas variables (Alvarado *et al.*, 2004; Sharif *et al.*, 2010). Debido a estas diferencias halladas se puede inferir que un alto número de esporas en el suelo no indica que exista una mayor colonización por parte de los HMA en las raíces de las plantas (Miller *et al.*, 1985) puesto que esto va a depender del tipo de ecosistema o de los factores ambientales, biológicos y edáficos al momento de la colonización.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta información básica de los hongos formadores de micorrizas arbusculares asociados a los cultivos de maíz. Los resultados generados aportan nueva e importante información que contribuye al conocimiento de la dinámica de asociación simbiótica hongo-planta en los cultivos de maíz de Sabanalarga (Atlántico, Colombia).

Se reporta por primera vez para el departamento del Atlántico 19 morfotipos de HMA asociados a cultivos de maíz, siendo las especies del género *Glomus* las más abundantes debido a la capacidad adaptativa que estos presentan para sobrevivir ante los diferentes cambios ambientales y edáficos que se dan en este tipo de ecosistema tropical. Las variaciones en la densidad de esporas y en la riqueza de morfotipos de HMA en los cultivos de maíz estuvieron influenciadas por los cambios en las precipitaciones dado que no todas las especies de HMA son fisiológicamente activas bajo las mismas condiciones edafoclimáticas. A su vez los bajos contenidos de materia orgánica, la baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), la temperatura del suelo y la asociación natural del cultivo de maíz con plantas micotróficas obligadas

como la yuca y el frijol, fueron determinantes en el porcentaje de colonización radicular y en la densidad de esporas; permitiendo de esta forma la presencia de una alta esporulación de los HMA y una mayor dependencia a la micorrización para la toma de nutrientes del suelo.

En general, la no utilización de fertilizantes químicos en este tipo de agroecosistemas es un factor que posiblemente influyó en la esporulación y establecimientos de las comunidades micorrízicas en este cultivo, ya que la utilización de fertilizantes de origen industrial tiene un efecto adverso en el desarrollo de estos microorganismos. La habilidad de las especies de HMA para colonizar su hospedero, sumado a las características edáficas y a los exudados radicales generados por la planta que intervienen en el reconocimiento de la simbiosis, probablemente explican la falta de correlación entre el número de esporas en el suelo y el porcentaje de colonización radicular. Finalmente, la selección de HMA específicos con potencial para ser incorporados en el manejo fitotécnico del cultivo de maíz a pequeña y mediana escala constituye un valioso aporte para la generación de cultivos acordes a las políticas de desarrollo sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Al Ph.D. Alexander Pérez, docente de la Universidad de Sucre; a los estudiantes de maestría Leonardo Chamorro, Fredy Espitia y los estudiantes de pregrado Roberto Jiménez y Ader Núñez de la Universidad de Sucre, por el entrenamiento en identificación de HMA. A los señores Rafael Reales, Santander Lazo y familia por su colaboración en el trabajo de campo, acceso y disponibilidad del área de estudio y a la Universidad del Atlántico por su apoyo financiero.

REFERENCIAS

- Aguilar-Fernández, M., Jaramillo, V.J., Varela-Fregoso, L. & Gavito, M.E. 2009. Short-term consequences of slash-and-burn practices on the arbuscular mycorrhizal fungi of a tropical dry forest. *Mycorrhiza*. 19: 179-186.
- Alarcón, A. & Ferrera-Cerrato, R. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *TERRA*. 17: 179-191.
- Alvarado, A., Chavarría, M., Guerrero, R., Boniche, J. & Navarro, J. 2004. Características edáficas y presencia de micorrizas. *Agron Costarric*. 28: 89-100.
- Alvarado, G. 2010. Diversidad de maíces nativos de tres nichos ecológicos del altiplano poblano-tlaxcalteca. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, México.
- Arias, R.M., Heredia-Abarca, G., Sosa, V.J. & Fuentes-Ramírez, L.E. 2012. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico. *Agrofor Syst*. 85: 179-193.
- Bashan, Y. et al. 2007. Mycorrhizal characterization of the boojum tree, *Fouquieria columnaris*, an endemic ancient tree from the Baja California Peninsula, Mexico. *Trees Struct Funct*. 21: 329-335.
- Becerra, A.G., Nouhra, E.R., Silva, M.P. & McKay, D. 2009. Ectomycorrhizae, arbuscular mycorrhizae, and dark-septate fungi on *Salix humboldtiana* in two riparian populations from central Argentina. *Mycoscience*. 50: 343-352.
- Bhardwaj, S., Dudeja, S.S. & Khurana, A.L. 1997. Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in the natural ecosystem. *Folia Microbiol*. 42: 589-594.
- Bi Iritié, Z. et al. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Theobroma cacao* L. in the region of Yamoussoukro (Cote d'Ivoire). *African J Agric Res*. 7: 993-1001.
- Borde, M., Dudhane, M. & Kaur, J.P. 2010. Diversity of AM fungi in some tree species from dry land area of central Maharashtra (India). *Arch Phytopathol Plant Prot*. 43: 1796-1808.
- Camargo-Ricalde, S.L. 2002. Dispersal, distribution and establishment of arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 71: 33-44.
- Camargo-Ricalde, S.L. & Esperón-Rodríguez, M. 2005. Efecto de la heterogeneidad espacial y estacional del suelo sobre la abundancia de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares en el valle semiárido de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Rev Biol Trop*. 53: 339-352.
- Cardona, G., Peña-Venegas, P. & Arcos, A. 2008. Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (*Capsicum* sp.) en la Amazonia colombiana. *Agron Colomb*. 26: 459-470.
- Colozzi Filho, A. & Cardoso Nogueira, E.J.B. 2000. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de Cafeeiro e de Crotalaria cultivada na entrelinha. *Pesq Agropec Bras*. 35: 2033-2042.
- Cuadros, G.A., Gómez, S.R. & Rodríguez, L.N.F. 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. *Corpoica Cienc y Tecnol Agorpecuaria*. 12: 77-85.
- Cuervo, A.J.L. & Rivas, P.G.G. 2007. Cuantificación de hongos micorrízicos en muestras de suelo en plantaciones de *Tabebuia rosea* y *Cordia alliodora*. *NOVA*. 5: 1794-24701.

- Davies, F.T., Calderón, C.M., Huaman, Z. & Gómez, R. 2005. Influence of a flavonoid (formononetin) on mycorrhizal activity and potato crop productivity in the highlands of Peru *Sci Hort.* 106: 318-329.
- Entry, J.A., Rygiewicz, P.T., Watrud, L.S. & Donnelly, P.K. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhizas. *Adv Environ Res.* 7: 123-138.
- Franke-Snyder, M. et al. 2001. Diversity of communities of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi present in conventional versus low-input agricultural sites in eastern Pennsylvania, USA. *Appl Soil Ecol.* 16: 35-48.
- Guadarrama-Chávez, P., Camargo-Ricalde, S.L., Hernández-Cuevas, L. & Castillo-Argüero, S. 2007. Los hongos micorrizogénos arbusculares de la región de Nizandía, Oaxaca, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* 81: 131-137.
- Guerrero Forero, E. & Azcon, C. 1996. *Micorrizas: recurso biológico del suelo.* Fondo FEN, Bogotá.
- Halfpeter, G. (comp.). 1992. *La diversidad biológica de Iberoamérica I.* Instituto de Ecología, A.C., Xalapa.
- Ho, I. 1987. Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae of Halophytic Grasses in the Alvord Desert of Oregon. *Northwest Sci.* 61: 148-151.
- Holdridge, L.R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center, San José de Costa Rica.
- Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Dis Report.* 48: 692.
- Kalinhoff, C., Cáceres, A. & Lugo, L. 2009. Cambios en la biomasa de raíces y micorrizas arbusculares en cultivos itinerantes del Amazonas venezolano. *Interciencia.* 34: 571-576.
- Kato Yamakake, T.Á., Mapes Sánchez, C., Mera Ovando, L.M., Serratos Hernández, J.A. & Bye Boettler, R.A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Khade, S.W. & Rodrigues, B.F. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with varieties of *Carica papaya* L. IN tropical agro-based ecosystem of Goa, India. *Trop Subtrop Agroecosystems.* 1: 117-122.
- Lovelock, C.E., Andersen, K. & Morton, J.B. 2003. Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. *Oecologia.* 135: 268-279.
- Lovera, M. & Cuenca, G. 2007. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la gran sabana, Venezuela. *Interciencia.* 32: 108-114.
- Martín, G. et al. 2009. Efecto de la canavalia ensiformis y micorrizas arbusculares en el cultivo del maíz. *Rev Cuba Cienc Agrícola.* 43: 191-199.
- Merryweather, J. & Fitter, A. 1998. The arbuscular mycorrhizal fungi of *Hyacinthoides non-scripta* II. Seasonal and spatial patterns of fungal populations. *New Phytol.* 138: 131-142.
- Miller, D.D., Domoto, P.A. & Walker, C. 1985. Mycorrhizal fungi at eighteen apple rootstock plantings in the United States. *New Phytol.* 100: 379-391.
- Montaño Arias, N.M., Quiroz García, V. & Cruz-Flores, G. 2001. Colonización micorrizica arbuscular y fertilización mineral de genotipos de maíz y trigo cultivados en un andisol. *TERRA.* 19: 337-344.
- Moreira-Souza, M., Trufem, S.F.B., Gomes-da-Costa, S.M. & Cardoso, E.J.B.N. 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. *Mycorrhiza.* 13: 211-215.

- Muleta, D., Assefa, F., Nemomissa, S. & Granhall, U. 2008. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. *Biol Fertil Soils*. 44: 653-659.
- Nair, M.G., Safir, G.R. & Siqueira, J. 1991. Isolation and Identification of Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza- Stimulatory Compounds from Clover (*Trifolium repens*) Roots. *Appl Environ Microbiol*. 57: 434-439.
- Nascimento de Oliveira, A. & de Oliveira, L. 2005. Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in plants of *Theobroma grandiflorum* Schum and *Paullinia cupana* Mart. of an agroforestry system in central Amazonia, Amazonas State, Brazil. *Brazilian J Microbiol*. 36: 262-270.
- Pande, M. & Tarafdarm, J.C. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in neem-based agroforestry systems in Rajasthan. *Appl Soil Ecol*. 26: 233-241.
- Peña-Venegas, C.P., Cardona, G.I., Arguelles, J.H. & Arcos, A.L. 2007. Micorrizas arbusculares del Sur de la Amazonia colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. *Inst Amaz Investig Científicas Sinchi*. 37 (3): 327-326.
- Pérez, A. & Vertel, M. 2010. Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Rev MVZ Córdoba*. 15: 2165-2174.
- Phillips, J.M. & Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans Br Mycol Soc*. 55: 158-161.
- Picone, C. 2006. Diversity and abundance of Arbuscular-Mycorrhizal Fungus Spores in Tropical Forest and Pasture. *Biotropica*. 32: 734-750.
- Pringle, A. & Bever, J.D. 2002. Divergent phenologies may facilitate the coexistence of arbuscular mycorrhizal fungi in a North Carolina grassland. *Am J Bot*. 89: 1439-1446.
- Romero Martins, C., Claessen, J.C., Miranda, D. & Nobre, L. 1999. Contribution of native arbuscular mycorrhizal fungi in the establishment of *Aristida setifolia* Kunth in degraded areas in the Cerrado. *Pesq Agropec Bras*. 34: 665-674.
- Roveda, G. & Polo, C. 2010. Mecanismos de adaptación de maíz asociado a *Glomus* spp. en suelos con bajo fósforo disponible. *Agron Colomb*. 25: 349-356.
- Ryan, P.D., Hammer, Ø., Harper, D.A. & Ryan, D.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron*. 4: 1-7.
- Sánchez de Prager, M. 1999. Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Palmira.
- Sangabriel-Conde, W., Trejo-Aguilar, D., Soto-Estrada, A., Ferrera-Cerrato, R. & Lara-Capistrán, L. 2010. Potencial de colonización de hongos micorrízico-arbusculares en suelos cultivados con papayo bajo diferentes manejos de producción. *Rev Mex Micol*. 31: 45-52.
- Schenck, N.C. & Pérez, Y. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. Synergistic Publications, Gainesville.
- Schenck, N.C., Graham, S.O. & Green, N.E. 1975. Temperature and light effect on contamination and spore germination of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycologia*. 67: 1189-1192.
- Schenck, N.C. & Smith, G.S. 1982. Responses of six species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and their effects on soybean at four soil temperatures. *New Phytol*. 92: 193-201.

Serralde, O.A.M. & Ramírez, G.M.M. 2004. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Rev Corpoica*. 5: 31-40.

Sharif, M., Rubina, K. & Burni, T. 2010. Occurrence and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in wheat and maize crops of Malakand division of North West frontier province. *Pak J Bot*. 42: 1301-1312.

Sieverding, E. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Proyecto Micorriza.

Silva Castro, C.A. 2005. Maíz genéticamente modificado. AGRO-BIO, Bogotá.

Tapia-Goné, J. et al. 2008. Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, en cinco suelos salinos del Estado de San Luis Potosí, México. *Mex Micol*. 26: 1-7.

Vargas, R., Hasselquist, N., Allen, E.B. & Allen, M.F. 2010. Effects of a Hurricane disturbance on Aboveground Forest Structure, Arbuscular Mycorrhizae and Belowground Carbon in a Restored Tropical Forest. *Ecosystems*. 13: 118-128.

Venegas, H. 2010. El cultivo del maíz, historia e importancia. *El Cereal*. 93: 1-19.

Vierheilig, H., Coughlan, A.P., Wyss, U. & Piché, Y. 1998. Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi. *Appl Environ Microbiol*. 64: 5004-5007.

Wang, Y.Y. et al. 2008. Diversity and infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils of the Sichuan Province of mainland China. *Mycorrhiza*. 18: 59-68.