

Comunidades de Hongos Formadores de Micorriza Arbuscular asociados a cultivos de caña para panela en Nariño-Colombia

PEÑARANDA-ROLÓN, Andrea María^{1*}; RAMÍREZ-GÓMEZ, María Margarita¹; SERRALDE-ORDÓÑEZ Diana Paola¹, PÉREZ-MONCADA, Urley Adrián¹, VOLVERAS-MAMBUSCAY, Belisario¹ y GONZALEZ-CHAVARRO, Carlos Felipe¹

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 vía Mosquera, Colombia, Suramérica. apenaranda@agrosavia.co

RESUMEN

Colombia se ha posicionado como el primer productor de panela en Suramérica y el segundo en el mundo, después de la India. El cultivo de la caña de azúcar para panela se desarrolla generalmente en condiciones de ladera, lo que, hace menos eficiente la toma de nutrientes y agua por parte de la planta, afectando su estado nutricional y productividad del cultivo. El departamento de Nariño, ubicado en la cordillera de los Andes en el suroccidente colombiano, se caracteriza por tener un relieve moderado a escarpado, el 6% de la población rural se dedica al cultivo de la caña panelera, con el 6.3% de participación en la producción a nivel nacional. El objetivo del trabajo de investigación fue realizar un diagnóstico de la calidad de los suelos de la región asociados al cultivo de la caña, en términos del contenido nutricional y de comunidades de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA). Los HFMA son microorganismos que establecen una asociación simbiótica con aproximadamente el 90% de las plantas y que permiten hacer más eficiente la toma de nutrientes. El trabajo de investigación inició con un muestreo de suelos (doce fincas) donde se realizó una caracterización química, encontrándose que las fincas tienen valores adecuados de pH para el desarrollo del cultivo de caña, con un promedio de 5.9; sin embargo, los contenidos de fósforo disponible en el 66% de las muestras fueron bajos (>20 mg.kg) y solo una finca presentó valores altos (>40 mg.kg) de P. En cuanto a los contenidos de materia orgánica el 66% de las muestras tuvieron valores intermedios y el 25% valores considerados como bajos. Por otra parte, se encontró que de la totalidad de muestras de raíz analizadas presentaron algún tipo de colonización, con porcentajes que variaron entre 10% y 76% (promedio de 51%); respecto a la comunidad de esporas HFMA encontradas se obtuvo un promedio de 6.4/gramo de suelo, lo cual indica que a pesar de que el contenido de esporas es bajo en los suelos, las comunidades allí presentes, son altamente efectivas y se asocian fácilmente con plantas de caña. Se realizó la clasificación morfológica a nivel de género encontrándose 10 morfotipos, de los cuales 2 no se pudieron clasificar taxonómicamente, 5 pertenecen a la familia de los Glomeraceae y 3 a la familia Acaulosporaceae. Con alta presencia de especies *Glomus macrocarpum* (75% de las muestras analizadas) y *Acaulospora cavernata*. Este análisis nos permitirá el escalamiento de un inoculo de HFMA nativas, que será evaluado en plantas de caña a nivel de vivero y campo, para ofrecer al productor de caña de Nariño, una oferta tecnológica con ventajas nutricionales y económicas que fortalezca la productividad y competitividad del cultivo.

Palabras clave: Caña para panela, microorganismos benéficos, hongos formadores de micorriza arbuscular, simbiosis, nutrición.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad Colombia se ha posicionado como el primer productor de panela en Suramérica y el segundo en el mundo, después de la India (FAO, 2006). Con relación al área cultivada, a nivel nacional se registran 250.000 hectáreas en caña. Aunque en los últimos reportes del Censo Nacional Agropecuario del DANE se registraron 360.000 ha (Fedepanela, 2016), donde se destacan 350.000 familias que dependen de esta actividad, generando 45.000 millones de jornales en el año. En el sector se encuentran pequeños, medianos y grandes productores, los que predominan son los pequeños que son el 88,9 % del total ubicados en 21 departamentos del país. La agroindustria panelera es una importante actividad socioeconómica que genera ingresos cercanos a los \$1.000 millones de dólares y aporta el 7% al PIB agrícola (Cruz, 2013).

Los departamentos de Santander, Boyacá, Nariño, Antioquia, Cundinamarca y Valle del Cauca se destacan como los principales productores en término de hectáreas. El departamento de Nariño, ubicado en la cordillera de los Andes en el suroccidente colombiano, se caracteriza por tener un relieve moderado a escarpado, el 6% de la población rural se dedica al cultivo de la caña panelera, con el 6.3% de participación en la producción a nivel nacional.

En Colombia el cultivo de la caña de azúcar para panela se desarrolla en condiciones de ladera. La producción de panela depende de las recomendaciones de manejo agronómico, ajustadas a diferentes regiones productoras del país. Este manejo agronómico difiere principalmente en los sistemas de siembra, los planes de fertilización, y el sistema de corte empleado por zona.

Uno de los principales limitantes de la mayoría de los sistemas de producción de caña panelera a nivel nacional, está relacionados con estrés hídrico y nutricional, y en este sentido, los Hongos Formadores de Micorriza Arbuscular (HFMA) incrementan la capacidad de toma de agua y nutrientes por las plantas, generando condiciones favorables para el desarrollo de parte aérea y raíces, mejorando el crecimiento, producción y rendimiento (calidad e inocuidad) de la planta y aumentando la capacidad de respuesta de las plantas frente a ataques de plagas y enfermedades (Smith and Read, 2008).

En cultivos semi permanentes como la caña panelera, los HFMA juegan un papel importante en el ciclaje y reciclaje de nutrientes permitiendo mejoras sustanciales en la nutrición del cultivo y reducción en el uso de abonos, fertilizantes y enmiendas. En etapas tempranas del cultivo, que requieren tiempos de formación de raíces, los HFMA permiten un mejor y más rápido crecimiento de éstas favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas y su capacidad de adaptación a sitio definitivo.

La asociación de plantas-HFMA data de más de 400 millones de años y se considera que la colonización de ecosistemas terrestres por las plantas se debe, en parte, a la alta capacidad de adaptación a diversos ecosistemas de la asociación (Remy *et al.*, 1994; Bonfante and Genre, 2008), que se refleja en su amplia distribución geográfica y alta cobertura de especies vegetales que se asocian con HFMA (Harley and Smith, 1983). Los

Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares, se asocian con aproximadamente el 90% de las plantas terrestres de forma natural.

Así pues, el objetivo del trabajo de esta investigación fue realizar un diagnóstico de la calidad de los suelos de la región productora de caña para panela en el departamento de Nariño, asociados al cultivo de la caña, en términos del contenido nutricional y de comunidades de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE HFMA

Se realizó un muestreo de suelos (1 kg) y raíces de caña panelera en los principales municipios productores del departamento de Nariño (Sandoná, Linares y El Tambo), con el fin de determinar el contenido nutricional y la existencia o no de asociación natural de HFMA-Caña panelera. Se tomaron muestras compuestas (dependiendo de la diversidad de suelos en el cultivo) en 12 fincas. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0 – 30 cm, en cultivos de caña en diferentes etapas fenológicas. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de química de suelos del C.I. Tibaitatá-AGROSAVIA. En cada punto de muestreo, se determinaron las coordenadas geográficas empleando GPS.

En la Figura 1, se presenta un mapa del área y los municipios en los que se realizó el muestreo, en Figura 2, se observan las zonas productoras de caña para panela en Nariño.

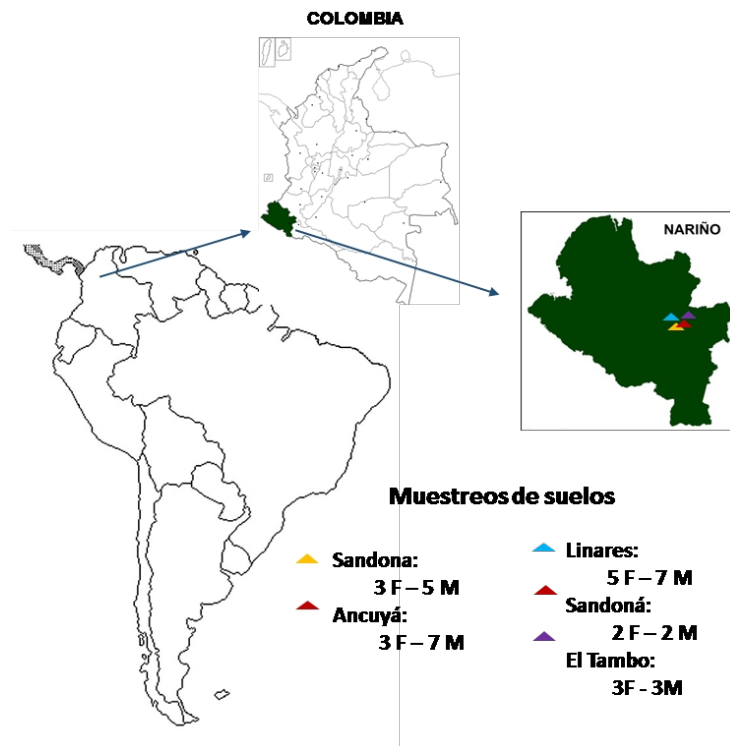


Figura 1. Área y Municipios de muestreo



Figura 2. Zonas productoras de caña para panela en Nariño

A partir de las muestras de suelo colectadas de los municipios productores de caña para panela, se realizó el aislamiento y cuantificación de esporas de HFMA (número de esporas/g de suelo) empleando el método de Gendeman and Nicholson (1963). Posteriormente las esporas de cada muestra fueron capturadas con la ayuda de una transferpipeta y depositadas en tubos eppendorf para continuar con el proceso de desinfección con 200 μ l de Cloramina T durante 10 minutos, finalizado el tiempo el reactivo fue retirado y las esporas se lavaron con agua destilada, al finalizar este proceso las muestras fueron refrigeradas para su posterior análisis. Este análisis consistió en depositar las esporas en cajas de petri plástica con papel filtro y separarlas por color. Se realizó una

tinción de las esporas con PVLG, con el fin de hacer una identificación taxonómica a nivel de género de los morfotipos de esporas con mayor predominio, para lo cual se emplearon las claves de Schenk and Pérez (1988), donde características como tamaño y color de la espora, fijación de la hifa en la espora, estructura de la pared de la espora permitieron identificar las esporas a nivel de género. A continuación, se observa el proceso de identificación morfológica de HFMA (Figura 3).

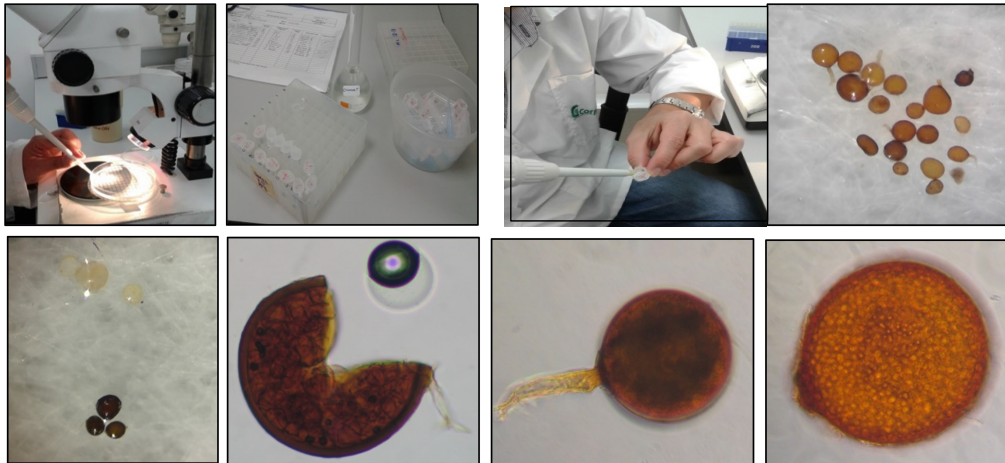


Figura 3. Proceso de identificación morfológica de HFMA

Paralelamente, se realizó la tinción diferencial de raíces con azul de tripán para determinar el porcentaje de colonización de HFMA nativos mediante la tinción de estructuras de HFMA como: hifas, esporas, vesículas y arbuscúlos, con base en la metodología de Phillips and Hayman (1970).

2.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS

Se realizó caracterización química (textura, pH, Materia orgánica (MO) y contenido de macronutrientes) de los suelos muestreados, donde se utilizaron los siguientes métodos para las siguientes determinaciones: pH (potenciómetro: agua 1:1), materia orgánica (Walkey & Black), fósforo disponible (P) (Bray II), azufre disponible (fosfato monobásico de calcio), acidez intercambiable (Al+H) (Método KCl), aluminio intercambiable (Al) (Método KCl); calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiable (Acetato de amonio 1N pH 7,0), capacidad de Intercambio catiónico (CICE) (Suma de cationes), conductividad eléctrica (conductivímetro suelo: agua 1:2,5).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 MUESTREO DE SUELOS Y RAÍCES EN LOS PRINCIPALES MUNICIPIOS

PRODUCTORES DE CAÑA PANELERA.

Se realizó el muestreo de HFMA en suelos productores de caña panelera en los municipios de Linares, Sandoná y El Tambo. Se tomaron muestras de suelo y raíces en 12 fincas, las cuales se llevaron al laboratorio de Microbiología Agrícola del C.I Tibaitatá para el análisis de HFMA, y al laboratorio de química de suelos del C.I Tibaitatá para su caracterización. La descripción general de las muestras tomadas se presenta en la Tabla 1

Tabla 1 Descripción de las muestras tomadas en el área de estudio.

No. Fincas	Municipio	Finca	Propietario	Ubicación geográfica	Altura (msnm)	Fecha muestreo
1	Linares	La ereda	Francisco Solarte	N: 01.35465° W: 77.51237°	1765	feb-07
2	Linares	La ereda	Francisco Solarte	N: 01.35465° W: 77.51237°	1765	feb-07
3	Linares	La ereda	Francisco Solarte	N: 01.35465° W: 77.51237°	1765	feb-07
4	Linares	El hueco	Juan Ramón Ortega	N: 01.36925° W: 077.50078°	1601	feb-07
5	Linares	El Partidero	José Zambrano	N: 01.36981° W: 077.50214°	1621	feb-07
6	Linares	La Vega	Elias A. Morlano	N: 01.37404° W: 077.51246°	1149	feb-07
7	Linares	La Laguna	-	N: 01.35966° W: 077.51590°	1400	feb-07
8	Sandoná	Vergel 1	Francisco Pantoja	N: 01°20'15.4" W: 077°28'22.7"	1516	feb-07
9	Sandoná	Vergel 2	Alvaro Gómez	N: 01°20'51.2" W: 077°28'31.6"	1430	feb-07
10	El Tambo	San Francisco	Alexander Arteaga	N: 01°24'32.4" W: 077°27'27.3"	1662	jun-17
11	El Tambo	San Pedro	Abelino Diaz	N: 01°24'32.5" W: 077°27'15.2"	1621	jun-17
12	El Tambo	El Tablon	Jose Francisco Erazo	N: 01°24'26.6" W: 077°26'35.4"	1774	jun-17

3.1.1 Análisis químicos

Se obtuvieron los resultados de la caracterización química de suelos de las 12 fincas muestreadas. Los suelos productores de caña en esta zona son de textura franco y franco-arcillosas, texturas adecuadas para el cultivo de la caña. En condiciones geomorfológicas aluviales y coluvio aluviales con buenos drenajes, las texturas franco y franco-arcillosas dan excelentes rendimientos físicos y buena calidad de panela. De acuerdo con el tipo de textura se debe pensar en adecuaciones al terreno para mejorar aireación, drenaje, infiltración, y así mismo para tener una idea de la fragilidad o no del suelo y su tendencia a la pérdida de nutrientes por lixiviación y baja retención de los mismos (Manrique, 2000).

De las Figuras 4 a la 5 se presentan los resultados obtenidos para cada una de las variables químicas analizadas. Los colores significan: verde condiciones óptimas para la caña, rojo deficiencias en nutrientes, amarillo niveles medios en nutrientes, y azul nivel neutro para el caso del pH, estas categorías de fertilidad baja, media, alta respectivamente para cada propiedad (exceptuando el pH), según el criterio de la quinta aproximación del ICA (1992).

Respecto al pH se observa que los suelos tienen valores adecuados para el desarrollo del cultivo de caña, con un promedio de 5.9 (moderadamente ácido) (Figura 4). La caña para panela puede cultivarse relativamente bien dentro de los límites de pH que van de 5,5 a 7,5. Por tal razón no es necesaria la aplicación de enmiendas en estas fincas muestreadas.

La acidez del suelo puede estar relacionada con aspectos como génesis de suelos, manejo cultural, actividad biológica y condiciones climatológicas de la zona. En el caso de zonas con alta precipitación, los suelos pueden presentar alta lixiviación de cationes que favorecen la acidez; en procesos de descomposición de materia orgánica se liberan ácidos orgánicos que generan acidez en el suelo (IPNI, 1999).

En relación con los contenidos de materia orgánica (MO) de las zonas productoras de caña panelera en los municipios muestreados, se observó que el 66% de las muestras tuvieron valores intermedios y el 25% valores considerados como bajos, el valor promedio en todos los suelos de las fincas muestreadas fue de 3.37%, el cual corresponde a un nivel medio (Figura 4). La materia orgánica es fuente principalmente de N, P, S y de algunos elementos menores. Además, mejora las propiedades físicas del suelo, aumenta la capacidad amortiguadora (Buffer) y tiene gran influencia en la capacidad de intercambio catiónico (ICA, 1992).

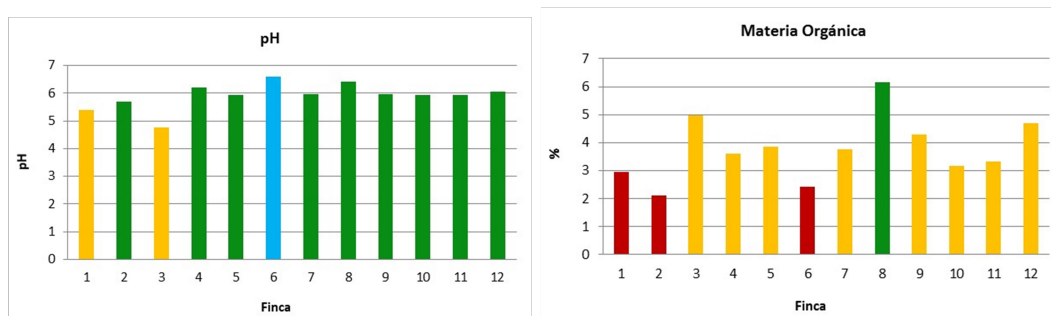


Figura 4. Resultados de pH y materia orgánica en fincas muestreadas.

Con respecto a los contenidos de fósforo disponible, el 66% de las fincas mostraron valores bajos (>20 mg.kg) y solo una finca presentó valores altos (>40 mg.kg) de P, el valor promedio de fósforo fue 17,91 mg/kg (valor medio) (Figura 5). El fósforo es uno de los elementos más limitantes en la producción agropecuaria ya que en la gran mayoría de los suelos los niveles de fósforo disponible son bajos, debido a diversas causas, como el material parental o de génesis de suelos, a procesos de fijación e inmovilización de este elemento, en suelos ácidos y alcalinos. Adicionalmente el fósforo es un elemento prácticamente inmóvil en el suelo, y aunque se encuentre en niveles adecuados de disponibilidad, si no está localizado en contacto con las raíces, la planta es incapaz de absorberlo.

Respecto a los cationes del complejo de cambio, los niveles de calcio, magnesio y potasio fueron principalmente altos (óptimos) para el cultivo de caña para panela. Los valores promedios fueron los siguientes: calcio 9,15 cmol(+)/kg, magnesio 5,70 cmol(+)/kg y Potasio 0,55 cmol(+)/kg (Figura 5).

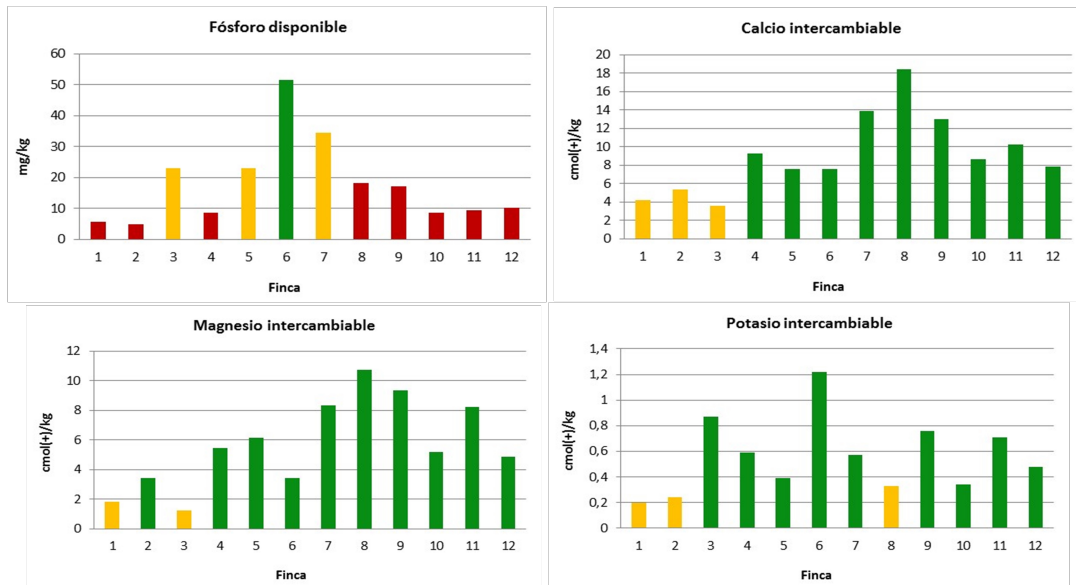


Figura 5. Resultados de contenidos químicos en suelos de fincas muestreadas.

Las poblaciones de HFMA se caracterizan por ser capaces de soportar condiciones adversas como por ejemplo sequía o grandes concentraciones de aluminio, por lo que es posible encontrar esporas de HFMA en todo tipo de suelos independientemente de las características que estos presenten. Sin embargo, se ha establecido que algunas características químicas del suelo como el pH, porcentaje de materia orgánica y concentraciones de fósforo, pueden ser factores que modulen el comportamiento y las poblaciones de HFMA. Por tal razón, en esta investigación se realizaron relaciones entre las poblaciones de HFMA en número de esporas por gramo de suelo y porcentaje de colonización de HFMA en raíces, con las características químicas del suelo como: pH, materia orgánica y las concentraciones de fósforo.

En la figura 6, se puede observar que no existe correlación entre las características químicas pH y materia orgánica con las comunidades de HFMA, esto significa que no existe una restricción para el establecimiento de los HFMA que este influenciado por estas dos variables. Sin embargo, para el caso de la concentración de fósforo si existe una correlación del 40% con el número de esporas por gramo. Mientras que, no existe correlación entre concentración de fósforo y porcentaje de colonización. Las HFMA juegan un papel fundamental en la toma del fósforo, ya que incrementan el área de exploración de las raíces a través de las hifas, pero si los niveles de fósforo son muy altos, la efectividad de la asociación micorrícica tiende a reducirse. Por tal razón, para estudios posteriores se debe aumentar los puntos de muestreo de suelos de las zonas productoras de caña en Nariño y de esta forma corroborar lo anteriormente descrito.

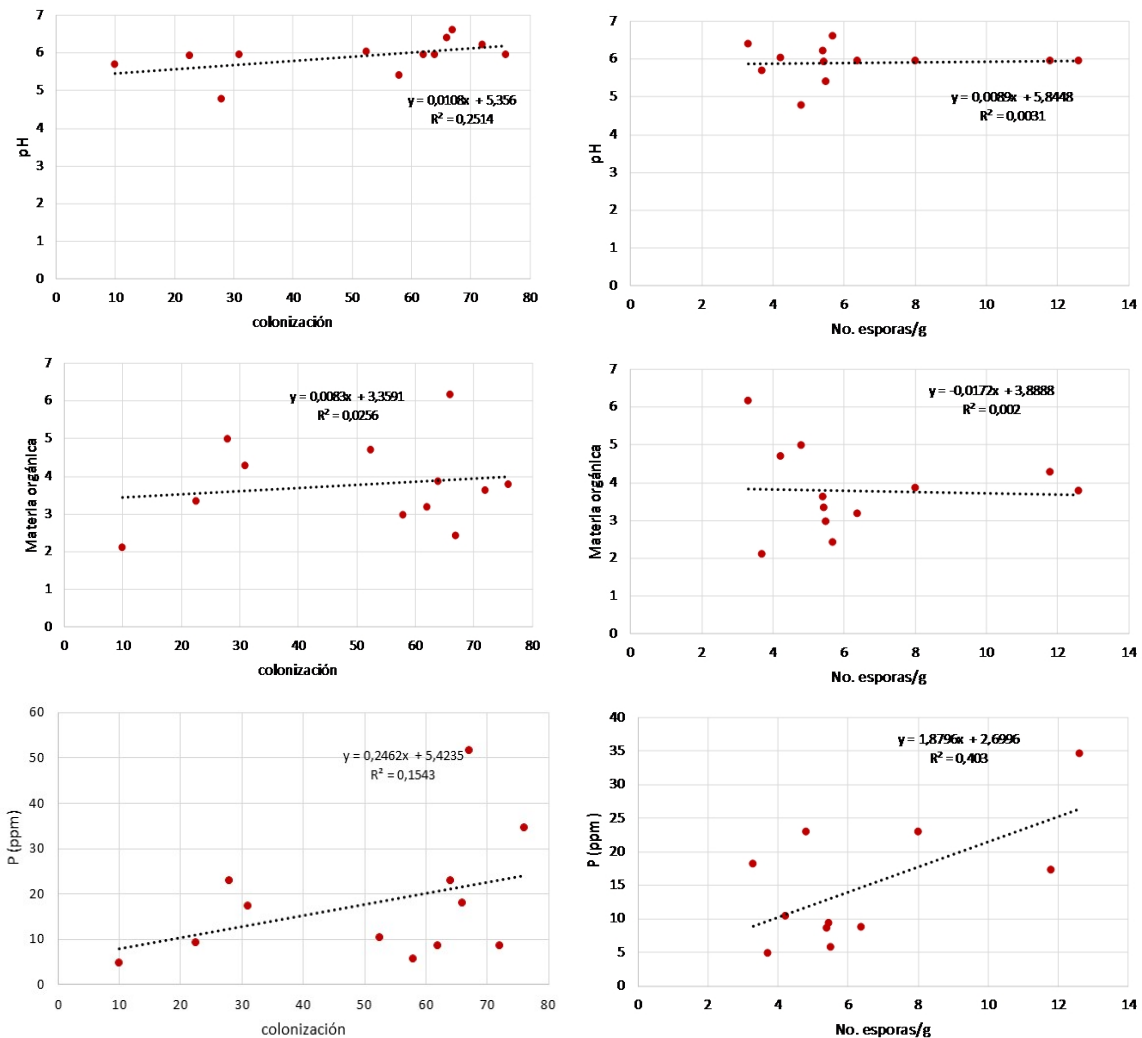


Figura 6. Relación variables químicas del suelo (pH, MO y P) con número de esporas por gramo y porcentaje de colonización.

3.1.2 Aislamiento y cuantificación de esporas de HFMA

Respecto a la variable número de esporas (Figura 7), el promedio de todas las fincas fue de 6,40 esporas/g de suelo, con valores mínimos de 3 esporas/g y máximos de 13 esporas/g, lo anterior indica que efectivamente existen comunidades de HFMA en zonas productoras de caña, que en general son bajas pero similares a los reportados en otras zonas productoras de caña del país como la Hoya del río Suarez (HRS) (Ramírez *et al*, 2014).

El resultado de porcentaje de colonización de HFMA (Figura 7) se encontró que de la totalidad de muestras de raíz analizadas presentaron algún tipo de colonización, con porcentajes que variaron entre 10% y 76%. El promedio en todas las fincas fue superior al 51%, lo cual indica que las plantas de caña para panela son capaces de establecer una relación simbiótica con HFMA.

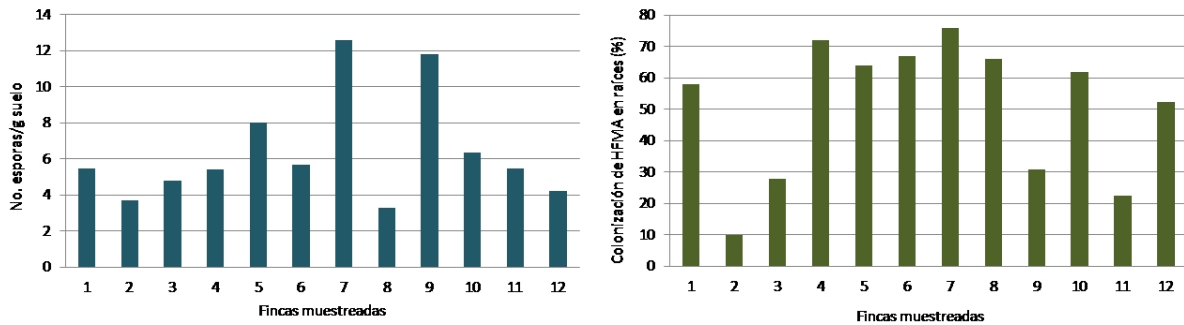


Figura 7. Análisis simbiótico, número de esporas/g de suelo seco y colonización de HFMA en raíces

3.1.3 Identificación morfológica de HFMA

Se realizó la clasificación morfológica a nivel de género encontrándose 10 morfotipos, de los cuales 2 no se pudieron clasificar taxonómicamente, 5 pertenecen a la familia de los Glomeraceae y 3 a la familia Acaulosporaceae. Con alta presencia de especies *Glomus macrocarpum* (75% de las muestras analizadas) y *Acaulospora cavernata*.

Para el municipio de Linares se encontraron 2 Morfotipos los cuales no se lograron identificar. En la figura 8 se observan las esporas aisladas para Linares.

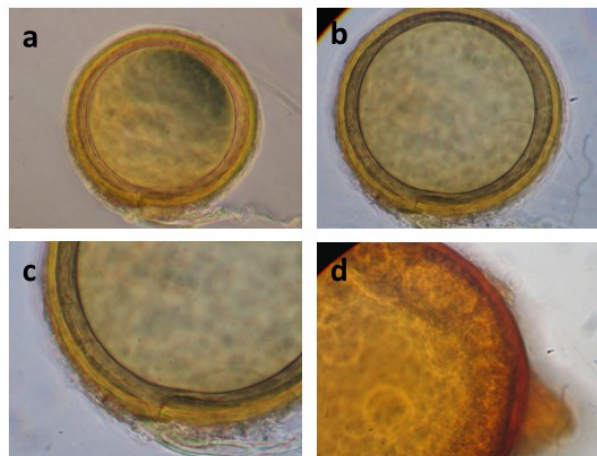


Figura 8. Esporas aisladas del municipio de Linares. a) Morfotipo 1, b) Morfotipo 1, c) Morfotipo 1, d) Morfotipo 2.

Para el caso de Sandoná se identificaron 5 morfotipos que pertenecen a la familia de los Glomeraceae y 3 morfotipos a la familia Acaulosporaceae. Con alta presencia de especies *Glomus macrocarpum* (75% de las muestras analizadas) y *Acaulospora cavernata* (Figura 9).

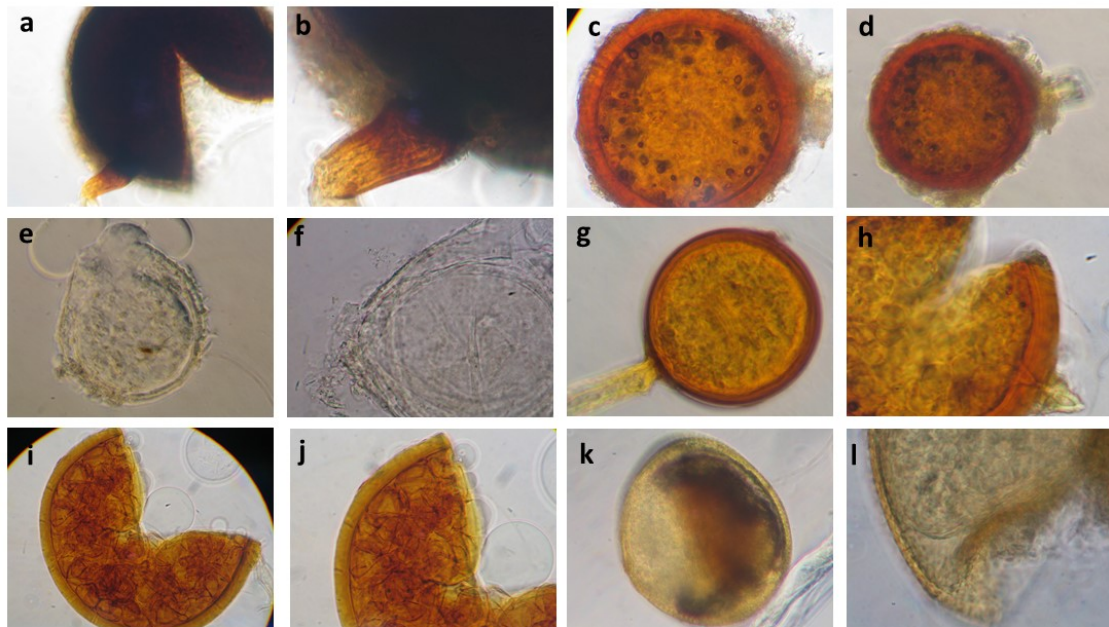


Figura 9. Esporas aisladas del municipio de Sandoná. a) Morfotipo 1, b) Morfotipo 1, c) Morfotipo 2, d) Morfotipo 2, e) Morfotipo 3, f) Morfotipo 3, g) Morfotipo 4, h) Morfotipo 4, i) Morfotipo 5, j) Morfotipo 5, k) Morfotipo 6, l) Morfotipo 6

CONCLUSIONES

En zonas productoras de caña para panela en el departamento de Nariño se encuentran comunidades de Hongos formadores de micorriza arbuscular (HFMA) observando un amplio rango de porcentaje de colonización en raíces, lo cual indica que en forma natural se establece la asociación simbiótica entre los HFMA y plantas de caña a nivel de campo.

Los suelos productores de caña para panela en Nariño presentan una amplia diversidad en sus características químicas, las fincas muestreadas mostraron valores adecuados de pH para el desarrollo del cultivo de caña y variaciones de contenidos de materia orgánica. Los nutrientes P, K, Ca, Mg fueron principalmente óptimos para el cultivo de caña para panela.

Los suelos productores de caña para panela mostraron valores adecuados de pH y materia orgánica para el desarrollo del cultivo. Los nutrientes P, K, Ca, Mg fueron principalmente óptimos para el cultivo de caña. La variabilidad en % de colonización, con amplios rangos, sugiere una mayor adaptación de los HFMA a cierto tipo de condiciones ambientales como contenidos de fósforo, donde se encontró una correlación del 40%.

La identificación de HFMA nativos en la zona productora de caña en Nariño, permitió conocer la presencia de 10 morfotipos, de los cuales 2 no se pudieron clasificar taxonómicamente, 5 pertenecen a la familia de los Glomeraceae y 3 a la familia Acaulosporaceae. Con alta presencia de especies *Glomus macrocarpum* (75% de las muestras analizadas) y *Acaulospora cavernata*.

RECOMENDACIONES

En futuros estudios se debe aumentar el rango de muestreo de suelos y raíces de plantas de caña para panela, para corroborar que algunas características químicas del suelo como el pH, porcentaje de materia orgánica y concentraciones de fósforo, puedan modular el comportamiento y las poblaciones de HFMA.

Es necesario continuar con el escalamiento de proceso de multiplicación de HFMA a eras o camas de multiplicación bajo invernadero para asegurar la cantidad de inóculo suficiente para la evaluación en campo.

BIBLIOGRAFIA

Agronet, 2018. Estadísticas. Disponible:

<http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>

Bonfante P. and Genre A. 2008. Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary-developmental perspective Trends in Plant Science 13: 9

Cruz, A. 2013. Continúa sin solución la crisis del sector panelero colombiano. EL PAIS, 14 de octubre de 2013.

FAO. 2006. Cálculos Observatorio Agrocadenas. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogota Colombia.

Fedepanela 2016. El reto: exportar más panela en 2016. Disponible en:

<http://www.fedepanela.org.co/index.php/publicacion/noticias/136-el-reto-exportar-mas-panela-en-2016>

Gerderman, J.W. & Nicholson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society 46:235-244

Harley, J. L. and Smith, S. E. 1983. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, Toronto

ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de Asistencia Técnica No. 25. Bogotá: ICA.

IPNI, International Plant Nutrition Institute. 1999. Phosphorus interactions with other nutrients. Better Crops 83(1):11-13.

Manrique E., Roberto, 2000. Manual de caña de azúcar para la producción de panela. CORPOICA – FEDEPANELA, Fondo Nacional de la panela. II Edición. Litografía la Bastilla, Bucaramanga. 2000. 154 p.

Phillips J.M. and Hayman D.S. 1970. Improve Procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. Trans. British Mycological Society 55: 158-161

Remy W; Taylor TN; Hass H and Kerp H. 1994. Four hundred million year old vesicular arbuscular mycorrhizae. Proc Natl Acad Sci USA 91: 11841-11843

Ramírez M, Serralde DP, Peñaranda A, Pérez A. 2014. Informe final de meta: "Colección de trabajo de HFMA y de BPCV asociadas a la rizósfera de plantas de caña de azúcar provenientes de zonas paneleras de Cundinamarca, Boyacá y Santander y BPCV caracterizadas funcionalmente" Corpoica.

Schenk N.C. and Pérez I. 1988. Manual for Identification on VA-mycorrhizal fungi. 2 nd edition. Gainesville: University of Florida. 245 p.

Smith S. and Read D. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, (Ed 3).Academic Press