



Terra Latinoamericana

ISSN: 2395-8030

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

Wilches Ortiz, Wilmar Alexander; Ramírez Gómez, María Margarita; Pérez Moncada, Urley Adrian; Serralde Ordoñez, Diana Paola; Peñaranda Rolon, Andrea María; Ramírez, Luciano

Asociación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Colombia

Terra Latinoamericana, vol. 37, núm. 2, 2019, Abril-Junio, pp. 175-184

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57363012008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Asociación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Colombia

Association of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) with sugarcane plants (*Saccharum officinarum*) for panela production in Colombia

Wilmar Alexander Wilches Ortiz^{1‡}, María Margarita Ramírez Gómez¹,
Urley Adrian Pérez Moncada¹, Diana Paola Serralde Ordoñez¹,
Andrea María Peñaranda Rolon¹ y Luciano Ramírez¹

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA. Km 14 vía a Mosquera. 250047 Cundinamarca, Colombia.

[‡] Autor para correspondencia (wwilches@agrosavia.co)

RESUMEN

El cultivo de caña de azúcar para panela en Colombia presenta limitaciones nutricionales relacionadas especialmente con la eficiencia baja de la fertilización química. El uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) optimiza la fertilización haciéndola más eficiente y puede reducir la aplicación de fertilizantes químicos. El objetivo de este estudio fue evaluar la asociación de HMA con plantas de caña de azúcar para la producción de panela en etapa de vivero. Se realizó una caracterización de suelos en las regiones de Cundinamarca y la Hoya del Río Suárez (Boyacá y Santander), caracterizadas como las productoras principales de caña de azúcar para panela en Colombia y se encontró que las plantas de caña de azúcar establecen de forma natural una asociación con los HMA. Los HMA con mayor predominio fueron *Glomus microcarpum*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus sinuosum*, cuatro morfotipos de *Glomus* sp., dos de *Acaulospora* sp. y uno de *Funnelformis* sp. Se evaluó el efecto de la inoculación con HMA en la etapa de vivero utilizando tres variedades de caña de azúcar ampliamente cultivadas en la Hoya del Río Suárez, CC93-7711 (Pierna Bella), CC93-714 y CC93-7510 (Vende Finca). Se evaluaron 11 tratamientos (T1 a T8 inoculación con diferentes comunidades de HMA; T9, T10 y T11 corresponden a testigos con fertilizaciones de 10, 50 y 100% de fertilización química) en un

diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluaron altura de planta y diámetro del tallo, cuantificación de esporas y porcentaje de colonización. Los resultados mostraron que las tres variedades respondieron al efecto benéfico de la asociación planta-HMA, al obtener plantas con rendimiento mayor con respecto a los testigos sin inocular. Las variedades CC93-7711 (Pierna Bella) y CC93-7510 (Vende Finca) mostraron un porcentaje mayor de colonización de HMA en respuesta a la inoculación de *Glomus* sp.

Palabras clave: micorrizas, caña panelera, azúcar no centrifugado, panela, fertilización.

SUMMARY

Sugarcane crop for panela production in Colombia presents nutritional limitations especially with the low efficiency of chemical fertilization. The use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) optimizes fertilization, making it more efficient and can reduce the application of synthetic fertilizers. The objective of this study was to evaluate the association of AMF with sugarcane plants for panela production in seedling stage. A characterization of soils was carried out in the regions of Cundinamarca and La Hoya del Río Suárez (Boyacá and Santander), characterized as the main sugarcane for panela production in Colombia and

Cita recomendada:

Wilches Ortiz, W. A., M. M. Ramírez Gómez, U. A. Pérez Moncada, D. P. Serralde Ordoñez, A. M. Peñaranda Rolon y L. Ramírez. 2019. Asociación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Colombia. Terra Latinoamericana 37: 175-184.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>

Recibido: 04 de enero de 2019.

Aceptado: 04 de marzo de 2019.

Publicado en Terra Latinoamericana 37: 175-184.

it was found that sugarcane plants establish a natural association with the AMF. The predominant AMF were *Glomus microcarpum*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus sinuosum*, four morphotypes of *Glomus* sp., two of *Acaulospora* sp. and one of *Funnelformis* sp. The effect of the inoculation with AMF in the seedling stage was evaluated using three varieties of sugarcane widely cultivated in the Hoya del Río Suárez, CC93-7711 (Pierna Bella), CC93-714 and CC93-7510 (Vende Finca). Eleven (T1 to T8 inoculation with different communities of AMF, T9, T10 and T11 correspond to controls with fertilizations of 10, 50 and 100% of chemical fertilization) were evaluated in a randomized complete block design with three replications. Plant height and stem diameter, spore quantification and percentage of colonization were evaluated. The results showed that the three varieties responded to the beneficial effect of the plant-HMA association, finding plants with higher yield with respect to the non-inoculated plants. The varieties CC93-7711 (Pierna Bella) and CC93-7510 (Vende Finca) showed a higher percentage of AMF colonization in response to the inoculation of *Glomus* sp.

Index words: *mycorrhiza, sugarcane for panela, non-centrifugal sugar, panela, fertilization.*

INTRODUCCIÓN

El azúcar no centrifugado (Panela) se consideró la forma predominante de la caña de azúcar para consumo, después de los años 1700 se introdujo el azúcar refinado marcando la exportación en la cadena de valor (Galloway, 2000). Se ha considerado que la panela tiene innumerables beneficios enmarcados en su valor nutricional y de salud. Reportes en antiguas escrituras medicas ayurvédicas en la India mencionan al jaggery como un producto de múltiples usos medicinales, entre ellos destacan ser purificador de la sangre, implicado además en la prevención de la afección reumática y como opresor de desórdenes en la bilis (Karthikeyan y Samipillai, 2010). A nivel mundial, el primer lugar en producción de panela lo tiene la India con un 56%, seguido de Colombia con un 15%, siendo éste junto a otros países como Brasil, Perú, México, Venezuela y Honduras los principales productores de América Latina (Rodríguez, 2014). En Colombia el área anual de caña para la producción de panela en el 2016 fue de aproximadamente 200 000 ha, con un rendimiento

de casi 6 Mg ha⁻¹ (Agronet, 2018). En el país el cultivo de caña para panela se caracteriza por pequeñas unidades de producción que presentan un bajo nivel de mecanización e ineficiencia técnica de la producción, situación que imponen retos para la sostenibilidad y la competitividad de esta cadena (Guerrero y Escobar, 2015). La mayoría de las regiones de producción de caña en Colombia presentan deficiencias en nitrógeno, fósforo y potasio, adicionalmente la literatura reporta deficiencias en calcio, azufre, magnesio, boro, cobre, zinc, sílice y molibdeno (Manrique, 2000). Los problemas relacionados con la nutrición en el sistema productivo son de gran importancia y es en este sentido donde los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) juegan un papel importante ya que favorecen el ciclaje y reciclaje de nutrientes permitiendo mejoras en la nutrición del cultivo y la reducción del uso de abonos, fertilizantes y enmiendas. Los HMA se asocian simbióticamente con la planta generando un intercambio positivo de nutrientes, en el cual la planta le suministra carbohidratos al hongo y éste le ayuda en la absorción de nutrientes, incluso en diferentes escenarios o ambientes en donde la disponibilidad es restringida. En plantas de caña de azúcar se han realizado estudios relacionados con el efecto de la asociación con HMA presentándose una notable mejoría en el manejo nutricional y el estrés hídrico (Datta y Kulkarni, 2012), además se ha encontrado que a partir de esta asociación se obtienen resultados positivos en la fisiología y el rendimiento de la planta (Sulistiono *et al.*, 2017).

La explotación agrícola frente a sus limitantes se encamina a la sostenibilidad, pudiéndose obtener toda la capacidad de producción del suelo mediante una adecuada fertilización (Domínguez, 1997). De esta forma, evaluar la asociación de los HMA con plantas de caña para mejorar la fertilización del cultivo, constituye un eslabón fundamental para mejorar la competitividad y sostenibilidad en el mismo. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la asociación de HMA en plantas de caña de azúcar para la producción de panela en etapa de vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección y Caracterización de HMA Nativos

Con el fin de aislar los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) nativos de suelos cultivados con plantas de caña para panela, se realizó un

muestreo de suelo rizoférico, en la hoya del Río Suárez, que comprende los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Santander. Se tomaron muestras en 23 fincas de producción de caña para panela, en cada una de las cuales se tomaron entre dos y tres muestras, dependiendo de la heterogeneidad del cultivo en términos de variabilidad topográfica y suelo según el caso. Cada muestra se conformó por cinco submuestras tomadas a lo largo de un surco.

Las muestras de suelo y raíz fueron analizadas en el laboratorio de microbiología agrícola de Agrosavia, con el fin de identificar las poblaciones de HMA, que de forma natural se presentan en suelos mediante la técnica de tinción diferencial con azul de tripán de Phillips y Hayman (1970), esta metodología permite identificar dentro de la raíz estructuras típicas del HMA como hifas, esporas, vesículas y arbusculos y determinar el porcentaje de colonización de raíz.

Para la caracterización morfológica de las muestras de suelo se obtuvieron esporas mediante la técnica de tamizado húmedo y decantación propuesta por Gerdemann y Nicolson (1963) y posteriormente se montaron en portaobjetos con alcohol polivinílico-ácido láctico glicerol (PVLG) o PVLG mezclado con reactivo de Melzer's en proporción 1:1 (v/v) (Sieverding, 1991) y se dejaron secar por 24 horas a temperatura ambiente para su observación al microscopio. Se realizó la identificación de esporas de HMA a nivel de género con base en caracteres morfológicos de la espora como: formación de tipo de espora (glomoide, acaulosporoide, entrophosporoide, gigasporoide y scutellosporoide), formación de esporocarpio, tamaño y color; estructura y tinción de paredes, así como características de germinación. Se utilizaron claves de clasificación de Schenck y Pérez (1990) y del INVAM (International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi) así como publicaciones científicas que dan soporte en la clasificación a nivel de género y especie (Blaszkowski, *et al.*, 2006, 2008; Redecker *et al.*, 2013; Sieverding *et al.*, 2014).

Los HMA son simbioses obligados y por lo tanto requieren de la asociación con una planta hospedera para completar su ciclo de vida, con el fin de multiplicar los propágulos infectivos de HMA (esporas, hifas, raíces colonizadas), cada una de las muestras colectadas, fue tomada como inóculo inicial para un proceso de multiplicación y escalamiento de HMA en invernadero

con macetas de 500 g, utilizando plantas de sorgo y caléndula como hospederos. Después de tres meses las plantas fueron sometidas a estrés hídrico con el fin de tener material suficiente para las evaluaciones en vivero.

Evaluación de la Inoculación de Plantas de Caña con HMA en Etapa de Vivero

Las muestras que presentaron mayor contenido de esporas y mayor porcentaje de colonización fueron mezcladas por región y se obtuvieron tres inóculos de HMA nativos de Cundinamarca (127.5 esp/10 g, 21% colonización en raíz), Boyacá (82.3 esp/10 g, 7.5 % colonización en raíz) y Santander (182.5 esp/10g, 9.5% colonización en raíz), éstos fueron incorporados en un experimento desarrollado en el centro de investigación Cimpa-Agrosavia (Barbosa, Santander-Colombia; 5° 56' 50.79" N y 73° 36' 24.14" O), a 1574 m de altitud.

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones, nueve unidades experimentales por tratamiento en tres variedades (CC93-7711, CC93-714 y CC93-7510), cada variedad se evaluó como un ensayo individual. Se evaluaron 11 tratamientos de la siguiente manera: del T1 al T3, fueron inoculados con HMA nativos de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander respectivamente; T4 y T5 fueron inoculados con diferentes HMA pertenecientes a la colección de trabajo de Agrosavia; T6 a T8 se inocularon con productos comerciales de HMA, y de T9 a T11 fueron tratamientos testigos con fertilizaciones de 10, 50 y 100%. Las plantas se fertilizaron con urea, de acuerdo a las recomendaciones hechas por el Cimpa-Agrosavia en la etapa de vivero. La concentración de esta aplicación consiste en una relación de 5 gramos de urea por litro de agua en este caso el testigo con el 100% de fertilización tiene dos aplicaciones semanales, los tratamientos inoculados con HMA y el testigo con el 50% de fertilización tuvo solo una aplicación semanal y el testigo con el 10% se dio una aplicación mensual (Cuadro 1).

Se realizó un muestreo a los 90 días después del trasplante (ddt) para las tres variedades, donde se analizó altura de las plantas, diámetro de cuello del tallo cuantificación de esporas de HMA y porcentaje de colonización de HMA en raíz.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos evaluados.
Table 1. Description of evaluated treatments.

Tratamiento	Descripción	Fertilización-Frecuencia de aplicación [†]
T1	Inóculo nativas Cundinamarca	1 / semana
T2	Inóculo nativas Boyocá	1 / semana
T3	Inóculo nativas Santander	1 / semana
T4	<i>Glomus</i> sp.	1 / semana
T5	<i>Acaulospora mellea</i>	1 / semana
T6	Comercial 1 (<i>Glomus</i> spp. <i>Entrophospora</i> spp. <i>Acaulospora</i> spp. y <i>Scutellospora</i> spp.)	1 / semana
T7	Comercial 1 (<i>Glomus</i> spp. <i>Entrophospora</i> spp. <i>Acaulospora</i> spp. y <i>Scutellospora</i> spp.)	1 / semana
T8	Comercial 3 (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	1 / semana
T9	Testigo 10% de la fertilización	1 / 4 semanas
T10	Testigo 50% de la fertilización	1 / semana
T11	Testigo 100% de la fertilización	2 / semana

[†] La fertilización consistió en la aplicación de 5 g L⁻¹ de urea de acuerdo a la frecuencia de aplicación para cada tratamiento.

[†] Fertilization consisted in the application of 5 g L⁻¹ of urea according to the frequency of application for each treatment.

Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados estadísticamente mediante análisis de varianza (alfa = 0.05). El análisis incluyó pruebas de normalidad, pruebas de igualdad de varianza y prueba de comparación múltiple de Tukey, con sus respectivas diferencias estadísticas en caso de presentarse (las letras diferentes indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos), se utilizó el programa Statistix 9.0 ®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección y Caracterización de HMA Nativos

Se colectaron 72 muestras en total, en Cundinamarca fueron 22 en 8 fincas y 50 en 15 fincas de la Hoya del Río Suárez (Boyacá y Santander). En el Cuadro 2 se presenta la información principal de cada una de las fincas muestreadas y su georeferenciación. La altitud de las fincas muestreadas en los tres departamentos varía entre 799 y 1735 m, con promedio de 1344 m. En el departamento de Cundinamarca la altitud promedio fue de 1040 m, en Boyacá de 1586 m y 1450 m en Santander.

Las muestras tomadas en cada una de las fincas fueron analizadas en términos de las poblaciones de HMA y su capacidad para asociarse naturalmente con plantas de caña. En términos generales se destaca que, en todas las muestras analizadas en los tres departamentos hay presencia de comunidades de HMA nativas y que éstas en mayor o menor grado dependiendo de la muestra tienen la capacidad de establecer una relación simbiótica con el cultivo (Figura 1). Es importante resaltar que las muestras de suelo de la localidad de Santander presentaron mayor contenido de esporas (182.5 esp/10 g) (Figura 1a) y las muestras de raíces de la localidad de Cundinamarca presentaron mayor porcentaje de colonización (21%) respecto a las otras localidades (Figura 1b). Se presentaron estructuras de hifas, vesículas, esporas y arbuscúlos de HMA (Figura 2).

En cuanto a la identificación de morfotipos y clasificación a nivel de género de esporas, se destacó que *Glomus* sp. es el género más representativo de las comunidades de HMA nativas asociadas al cultivo de la caña. En otros estudios de caña de azúcar se ha reportado en orden de importancia la abundancia de las morfoespecies por género de *Glomus*, *Acaulospora*, *Sclerocystis*, *Gigaspora*, *Scutellospora*,

Cuadro 2. Información general y geo-referenciación de fincas muestreadas.
Table 2. General information and geo-referencing of sampled farms.

Depto.	Municipio	Vereda	Nº	Finca	No. Rep.	Propietario	Ubicación geográfica	Altura (m)
Cundinamarca	Nocaima	San Juanito	1	Alto de la Cruz	3	José Luis	N: 05° 04' 47.9" W: 074° 22' 48.8"	1250
		San Pablo	2	El Retiro	3	Alirio Ávila	N: 05° 05' 32.7" W: 074° 23' 48.5"	1314
	Nimaima	Resguardo alto	3	El Cairo	3	Gonzalo Pinzón	N: 05° 07' 14.3 W: 074° 23' 02.0"	1146
			4	El Reposo	3	Fabio Benavides	N: 05° 07' 03.1" W: 074° 23' 00.8"	1171
	Villeta	Resguardo bajo	5	Santa Bárbara	3	Nicolás Garzón	N: 05° 07' 14.5" W: 074° 23' 30.3"	973
		Altos de Paja Bajo	6	La Unión	3	Leonardo Guateque	N: 05° 01' 52.8" W: 074° 27' 11.8"	799
		Maní	7	Chitavinta	2	José Ezequiel Rodríguez	N: 05° 01' 43.7" W: 074° 27' 16.1"	837
		La Mazate	8	El Porvenir	2	No disponible	N: 05° 00' 46.2" W: 074° 29' 17.1"	837
Boyacá	San José de Pare	Balsa y Resguardo	9	El Cuartillo	4	Saul Mora - Jairo Camargo	N: 06° 00' 50.7" W: 073° 31' 15"	1686
			10	La Quinta	3	Fernando Tovar	N: 06° 00' 35.6" W: 073° 32' 03.1"	1645
			11	El Eden	5	Raúl Aranda	N: 06° 01' 13.2" W: 073° 31' 50.9"	1589
	Santana	Sta. Barbara	12	Campo hermoso	3	Javier Sánchez	N: 06° 2' 29" W: 73° 28' 26"	1337
		San Martín	13	San Martín	4	Henry Sánchez	N: 06° 2' 6" W: 73° 30' 8"	1613
		San Emidio	14	La Laja	3	Hernando Ardila	N: 06° 4' 7" W: 73° 31' 120"	1500
	Chitaraque	Tume Grande	15	El Hato	4	No disponible	N: 05° 59' 54.74" W: 73° 26' 32.8"	1735
	Moniquira		16	Floridablanca	3	Luis Torres	N: 5° 54' 8" W: 73° 35' 13"	1691
Santander	Guepsa	Centro	17	Versalles (El Infierno) Alto	3	Sociedad Camacho Vanegas	N: 05° 59' 55.4" W: 073° 35' 44.7"	1511
		Platanal	18	Campo hermoso	3	Herber García	N: 06° 02' 08.9" W: 073° 35' 35.2"	1362
		Centro	19	El Infierno	3	Sociedad Camacho Vanegas	N: 06° 01' 18.0" W: 073° 34' 20.3"	1412
	Sonesi		20	El Reflejo	3	Omar Serrano	N: 06° 00' 30.8" W: 73° 34' 06.3"	1564
	Vélez	El Ropero	21	San Sebastian	3	Ana Inés Ruiz	N: 06° 00' 40.8" W: 73° 36' 16.9"	1505
	Guepsa	Platanal	22	Las Mercedes	3	Henry Mateus	N: 06° 01' 56.0" W: 73° 35' 11.0"	1399
		Platanal	23	Campo Hermoso; La Esperanza	3	Guillermo Angulo	N: 06° 2' 29.2" W: 073° 35' 26.8"	1402

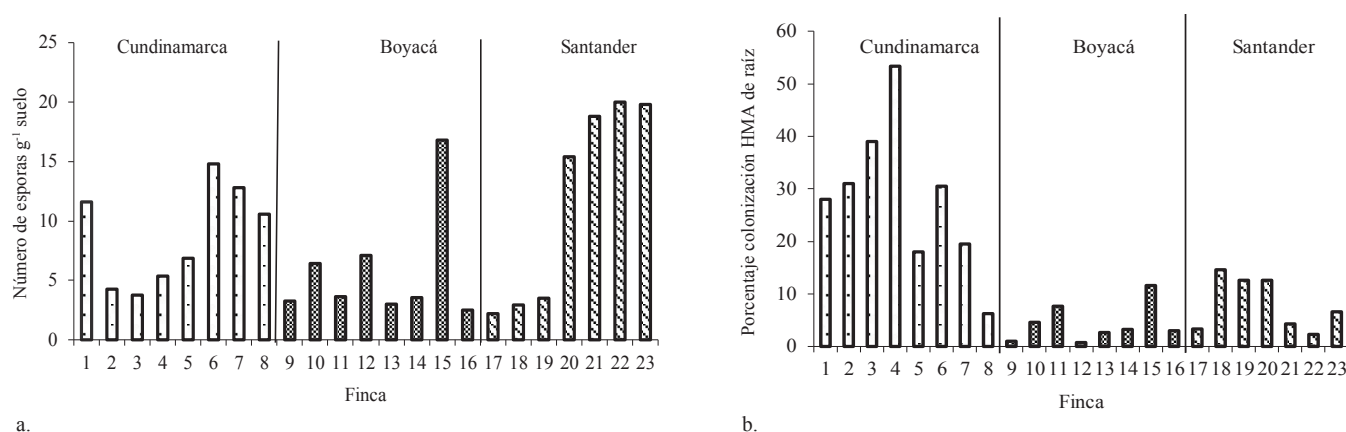


Figura 1. Análisis simbiótico en plantas de caña en fincas muestreadas. a. Cuantificación de esporas del suelo. b. Porcentaje de colonización en raíces.

Figure 1. Symbiotic analysis in sugarcane plants on sampled farms. a. Quantification of soil spores. b. Percentage of colonization in roots.

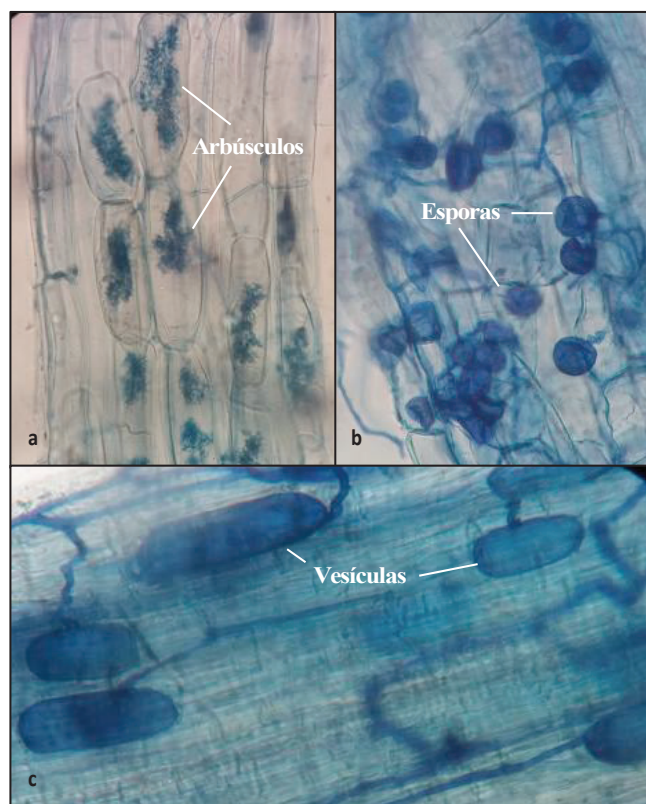


Figura 2. Estructuras microscópicas de HMA en raíz de caña. a = arbúsculos; b = hifas y esporas; c = hifas y vesículas.

Figure 2. Microscopic structures of HMA in sugarcane roots. a = arbuscules; b = hyphae and spores; c = hyphae and vesicles.

y *Funneliformis*, siendo las últimas similares en abundancia (Salgado *et al.*, 2014). En el presente estudio, se coincide al identificar la presencia de tres especies y cuatro morfotipos pertenecientes a este género (*Glomus*), dos morfotipos de *Acaulospora* y un morfotipo de *Funneliformis*, es importante destacar que la diversidad de esporas es muy amplia y es probable que dentro de estas poblaciones nativas existan otros morfotipos que no se han identificado aún. En la Figura 3, se presenta un grupo de fotografías microscópicas tomadas a algunos de los morfotipos encontrados en suelos nativos.

Promoción de Crecimiento para las Variedades CC-937711 (Pierna Bella), CC-93714 y CC-937510 (Vende Finca) en Etapa de Vivero

Los tratamientos correspondieron a los descritos en el Cuadro 1, siendo de T1 a T8 tratamientos de inoculación y T9 (10% de F), T10 (50% de F) y T11 (100% de F), testigos con diferentes grados de fertilización química.

Los datos del muestreo a los 90 ddt presentaron diferencias estadísticamente significativas en algunas variables. La variedad CC93-7711 (Pierna Bella) presentó diferencias significativas en tres de las variables analizadas, y se destaca especialmente el comportamiento de las plantas inoculadas con

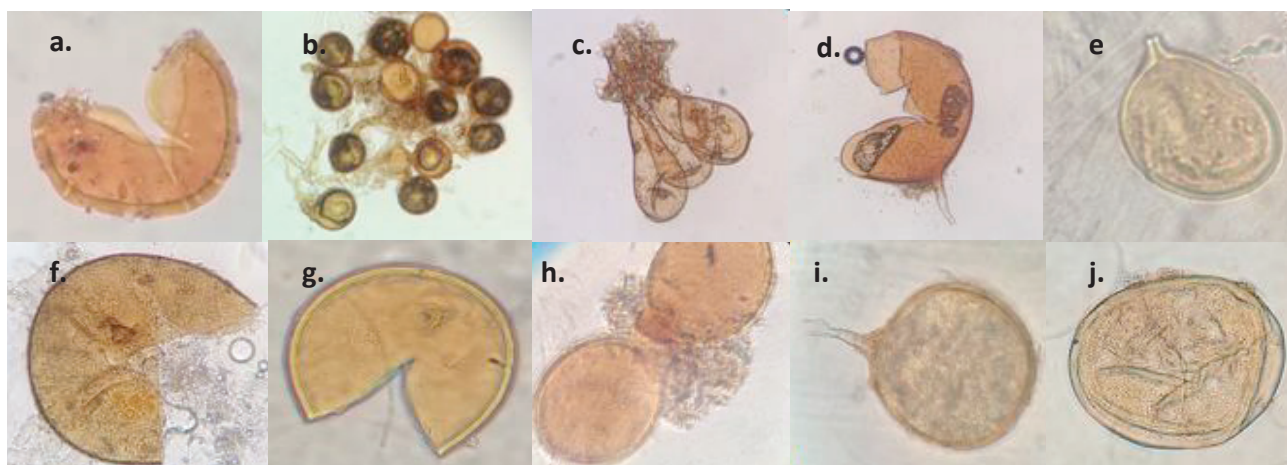


Figura 3. Morfotipos de HMA encontrados en suelos de caña de azúcar para la producción de panela. a) *Glomus microcarpum*; b) *Glomus fasciculatum*; c) *Glomus sinuosum*; d) *Glomus* sp.1; e) *Glomus* sp.2; f) *Glomus* sp.3; g) *Glomus* sp.4; h) *Funneliformis* sp.; i) *Acaulospora* sp. 1; j) *Acaulospora* sp. 2.

Figure 3. Morphotypes of AMF found in sugarcane soils for panela production. a) *Glomus microcarpum*; b) *Glomus fasciculatum*; c) *Glomus sinuosum*; d) *Glomus* sp.1; e) *Glomus* sp.2; f) *Glomus* sp.3; g) *Glomus* sp.4; h) *Funneliformis* sp.; i) *Acaulospora* sp. 1; j) *Acaulospora* sp. 2.

HMA nativas 1 y 3 (T1 y T3) que presentaron un comportamiento superior que los demás tratamientos de inoculación e incluso en las variables diámetro de cuello de raíz y altura en la planta que superan al testigo

con el 100% de la fertilización química convencional (Cuadro 3).

En la variedad CC93-714, se destaca el comportamiento de las plantas inoculadas con HMA

Cuadro 3. Respuesta a la inoculación de HMA en el crecimiento y micorrización de plantas de caña para la producción de panela, variedad CC93-7711 a los 90 ddt.

Table 3. Response to the inoculation of AMF in the growth and mycorrhization of sugarcane plants for panela production, variety C93-7711 at 90 dat.

Variedad CC93-7711 (Pierna Bella)				
Tratamiento	Altura	Diámetro raíz	Esporas	Colonización
T1. Inóculo nativas Cundinamarca	6.83 a	5.96 a	5.26 a	25.0 ab
T2. Inóculo nativas Boyacá	5.5 a	5.1 ab	4.23 a	25.33 ab
T3. Inóculo nativas Santander	6.73 ab	6.13 a	5.83 a	37.66 ab
T4. <i>Glomus</i> sp.	5.63 ab	5.4 ab	2.53 a	52.66 b
T5. <i>Acaulospora mellea</i>	5.56 ab	4.83 ab	11.0 a	29.33 ab
T6. Comercial 1 (<i>Glomus</i> spp. <i>Entrophospora</i> spp. <i>Acaulospora</i> spp. y <i>Scutellospora</i> spp.)	4.73 ab	4.7 ab	5.03 a	36.0 ab
T7. Comercial 2 (<i>Glomus</i> spp. <i>Acaulospora</i> spp. <i>Entrophospora</i> spp. y <i>Scutellospora</i> spp.)	5.23 ab	5.1 ab	3.36 a	22.66 a
T8. Comercial 3 (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	5.33 ab	5.5 ab	12.83 a	24.66 ab
Testigo 10% de fertilización	4.06 b	4.3 ab	1.53 a	19.66 a
Testigo 50% de fertilización	4.3 b	4.53 b	1.35 a	17.66 a
Testigo 100% de fertilización	5.06 b	5.06 ab	1.15 a	15.66 a

Letras diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos en las diferentes variables de acuerdo con el test de Tukey ($P \leq 0.05$).

Different letters in columns indicate significant differences between treatments according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

nativas (T1 a T3) y el inóculo de referencia T4 *Glomus* sp. para las variables diámetro de cuello de raíz y altura en la planta (Cuadro 4).

Finalmente, el comportamiento de la variedad CC 937510 (Vende Finca) fue similar al de las otras dos variedades en términos del efecto positivo que ejercen los HMA sobre el desarrollo agronómico de las plántulas de caña, que se refleja especialmente con los inóculos nativos que superan al testigo con el 100% de la fertilización química convencional (Cuadro 5).

La simbiosis entre plántulas y hongos micorrízicos es positiva con efectos tales como aumentos en las tasas de asimilación de CO₂, tasas de transpiración y una mayor tasa de apertura estomática, así como una mayor tasa de crecimiento vegetativo (Schwob *et al.*, 1998; Diniz, 2007¹; Oliveira *et al.*, 2015). Se ha reportado que la altura de la planta de caña de azúcar puede ser debida a la influencia que ejercen los hongos micorrízicos arbusculares en el establecimiento del cultivo (Ventura *et al.*, 2018). En este estudio se logró observar para las tres variedades una mayor altura en los tratamientos de inoculación con HMA respecto a los tratamientos de fertilización química sin inoculación. Los inóculos

de HMA nativas presentaron una mayor altura en las variedades CC93-7711 y C93-714 (Cuadros 3 y 4) y un mayor diámetro de tallo en las variedades CC93-711 y CC93-7510 Cuadros 3 y 5).

Asociación Simbiótica

Con respecto al número de esporas en las variedades CC93-7711 (Pierna Bella) y CC93-714 no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Cuadros 3 y 4). Ambrosano *et al.* (2011) y Moura *et al.* (2017) mencionan que no hubo diferencias significativas en la densidad de esporas en el cultivo de caña de azúcar en diferentes variedades y a distintos tratamientos. La variedad CC93-7510 (Vende Finca) presentó diferencias significativas en el tratamiento 5 (*Acaulospora mellea*) donde se evidenció la mayor cuantificación de esporas (Cuadro 5).

El mayor porcentaje de colonización de HMA en las variedades CC93-7711 (Pierna Bella) y CC93-7510 (Vende Finca) se presentó en el tratamiento 4 (*Glomus* sp.) con diferencias estadísticamente

Cuadro 4. Respuesta a la inoculación de HMA en el crecimiento y micorrización de plantas de caña para la producción de panela, variedad CC93-714 a los 90 ddt.

Table 4. Response to the inoculation of AMF in the growth and mycorrhization of sugarcane plants for panela production, variety CC93-714 at 90 dat.

Variedad CC93-714				
Tratamiento	Altura	Diámetro raíz	Esporas	Colonización
T1. Inóculo nativas Cundinamarca	7.18 ab	5.88 ab	8.2 a	26.33 a
T2. Inóculo nativas Boyacá	7.57 a	6.12 ab	16.43 a	25.66 a
T3. Inóculo nativas Santander	6.93 ab	5.60 ab	16.43 a	19 a
T4. <i>Glomus</i> sp.	7.58 a	6.54 a	21.9 a	24 a
T5. <i>Acaulospora mellea</i>	6.55 ab	5.30 bc	33.7 a	25 a
T6. Comercial 1 (<i>Glomus</i> spp. <i>Entrophospora</i> spp. <i>Acaulospora</i> spp. y <i>Scutellospora</i> spp.)	6.16 bc	5.48 abc	15.6 a	26 a
T7. Comercial 2 (<i>Glomus</i> spp. <i>Acaulospora</i> spp. <i>Entrophospora</i> spp. y <i>Scutellospora</i> spp.)	6.53 ab	5.33 bc	19.2 a	22 a
T8. Comercial 3 (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	6.61 ab	5.11bc	16.13 a	15.33 a
Testigo 10% de fertilización	4.88 b	4.36 c	10.1 a	16 a
Testigo 50% de fertilización	6.06 bc	4.96 bc	14.33 a	20.66 a
Testigo 100% de fertilización	6.20 a	5.13 bc	16.23 a	12 a

Letras diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos en las diferentes variables de acuerdo con el test de Tukey ($P \leq 0.05$).

Different letters in columns indicate significant differences between treatments according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

¹ Diniz, P. F. de A. 2017. Influência do fungo micorrízico arbuscular (*Glomus clarum*) sobre características biofísicas, nutricionais, metabólicas e anatômicas em plantas jovens de seringueira. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras. 112 p.

Cuadro 5. Respuesta a la inoculación de HFMA en el crecimiento y micorrización de plantas de caña para la producción de panela, variedad CC93-7510 a los 90 ddt.**Table 5. Response to the inoculation of AMF in the growth and mycorrhization of sugarcane plants for panela production, variety CC93-7510 at 90 dat.**

Variedad CC93-7510 (Vende Finca)				
Tratamiento	Altura	Diámetro raíz	Esporas	Colonización
T1. Inóculo nativas Cundinamarca	7.09 ab	5.99 a	18.27 ab	23.33 ab
T2. Inóculo nativas Boyacá	6.98 ab	5.58 ab	19.6 ab	17.7 a
T3. Inóculo nativas Santander	6.26 abc	5.26 ab	19.53 ab	20.66 a
T4. <i>Glomus</i> sp.	7.11 a	5.93 a	21.53 ab	43.66 b
T5. <i>Acaulospora mellea</i>	6.22 abc	5.02 abc	48.56 b	31.66 ab
T6. Comercial 1 (<i>Glomus</i> spp. <i>Entrophospora</i> spp. <i>Acaulospora</i> spp. y <i>Scutellospora</i> spp.)	6.15 abc	5.47 ab	13.33 a	33.33 ab
T7. Comercial 2 (<i>Glomus</i> spp. <i>Acaulospora</i> spp. <i>Entrophospora</i> spp. y <i>Scutellospora</i> spp.)	6.46 abc	5.07 ab	23.6 ab	15.66 a
T8. Comercial 3 (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	6.12 abc	5.01 abc	15.45 a	17.33 a
Testigo 10% de fertilización	4.35 d	3.83 c	15.26 a	16.66 a
Testigo 50% de fertilización	5.34 cd	4.36 bc	23.63 ab	15.66 a
Testigo 100% de fertilización	5.88 bc	5.11 ab	13.83 a	19.66 a

Letras diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos en las diferentes variables de acuerdo con el test de Tukey ($P \leq 0.05$).Different letters in columns indicate significant differences between treatments according to the Tukey test ($P \leq 0.05$).

significativas (Cuadros 3 y 5). Cabe destacar que en la caracterización inicial se encontraron morfotipos de *Glomus* asociados al cultivo en la zona y que autores como Datta y Kulkarni (2012) mencionan que la raíz de la caña de azúcar actúa como hospedero adecuado para la formación de simbiosis mutualista con algunas especies de *Glomus* (*Glomus fasciculatum*, *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* y *Glomus versiforme*).

CONCLUSIONES

- El uso de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de caña en etapa de vivero promovió mejores resultados en el desarrollo agronómico de las variedades estudiadas. Los resultados permiten observar que existe una diferencia significativa en la respuesta a la inoculación en las tres variedades. Se evidenció un efecto benéfico de la asociación planta-microorganismo, reflejado en el crecimiento de las plántulas inoculadas que para todas las variables analizadas presentaron resultados superiores al testigo sin inocular, mostrando así reducción de fertilización de síntesis del 50%.
- La colonización micorrízica y la cuantificación de esporas mostraron valores significativos de

los tratamientos *Glomus* sp. y *Acaulospora mellea* respectivamente. Este estudio constituye la base para futuras investigaciones de evaluación del potencial de estos microorganismos como biofertilizantes para la caña panelera (*Saccharum officinarum*).

AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, por la financiación de la investigación y puesta en marcha de los ensayos en los diferentes escenarios.

LITERATURA CITADA

- Agronet (Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario Colombiano). 2018. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Estadísticas agropecuarias. Estadísticas agrícolas. Área cosechada, producción y rendimiento de Caña panelera. <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx> (Consulta: septiembre 10, 2018).
- Ambrosano, E. J., H. Cantarella, G. M. B. Ambrosano, E. A. Schammas, F. L. F. Dias, F. Rossi, P. C. O. Trivelin, T. Muraoka, R. C. C. Sachs e R. Azcón. 2011. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. *Bragantia* 70: 810-818. doi: 10.1590/S0006-87052011000400012.

- Blaszkowski, J., C. Renker, and F. Buscot. 2006. *Glomus drummondii* and *G. walkeri*, two new species of arbuscular mycorrhiza fungi (*Glomeromycota*). *Mycol. Res.* 110: 555-566.
- Blaszkowski, J., B. Czerniawska, T. Wubet, T. Schäfer, F. Buscot, and C. Renker. 2008. *Glomus irregulare* a new arbuscular mycorrhizal fungus in the *Glomeromycota*. *Mycotaxon* 106: 247-267.
- Datta, P. and M. Kulkarni. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in sugarcane rhizosphere in relation with soil properties. *Not. Sci. Biol.* 4: 66-74. doi: 10.15835/nsb416567.
- Domínguez V., A. 1997. Tratado de fertilidad. Mundi-Prensa. España.
- Galloway, J. H. 2000. Sugar. pp. 437-439. In: K. Kiple and C. Orvelas K. (eds.). The Cambridge world history of food. Cambridge University Press. UK.
- Gerdemann, J. W. and T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235-244.
- Karthikeyan, J. and S. S. Samipillai. 2010 Sugarcane in therapeutics. *J. Herbal Med. Toxicol.* 4: 9-14.
- Manrique E., R. 2000. Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar para panela. pp. 1-16. In: CORPOICA-SENA (eds.). Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Servicio Nacional de Aprendizaje. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Moura, J. B., D. A. Ribeiro, L. C. Lopes Filho, R. F. de Souza, and L. C. Furquim. 2017. Arbuscular mycorrhizas in sugarcane under different planting systems and sources of nitrogen. *Sci. Agr.* 18: 20-29. doi: 10.4336/2015.pfb.35.83.711.
- Oliveira, J. J. F., T. F. Alixandre e J. M. S. Miranda. 2015. Mudass de castanha-do-gurguéia micorrizadas sob níveis de esterco de caprinos. *Pesq. Flor. Bras.* 35: 189-198.
- Phillips, J. M. and D. S. Haym. 1970. Improve procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhiza fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-161. doi: 10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
- Redecker, D., A. Schüßler, H. Stockinger, S. L. Stürmer, J. B. Morton, and C. Walker. 2013. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). *Mycorrhiza* 23: 515-531. doi: 10.1007/s00572-013-0486-y.
- Rodríguez, G. B. 2014. La agroindustria panelera en cifras. Ficha Técnica. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Bogotá, Colombia.
- Salgado García, S., M. Castelán Estrada, R. Jiménez Jerónimo, J. F. Gómez Leyva y M. Osorio Miranda. 2014. Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en suelos cultivados con caña de azúcar en la región de la Chontalpa, Tabasco. *Rev. Mex. Micol.* 40: 7-16.
- Schenck, N. C. and Y. Pérez. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. Synergistic Publications. Gainesville, FL, USA.
- Schwob, I., M. Ducher, H. Sallanon, and A. Coudret. 1998. Growth and gas exchange responses of *Hevea brasiliensis* seedlings to inoculation with *Glomus mosseae*. *Trees* 12: 236-240. doi: 10.1007/PL00009714.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit Eschborn: Schriftenreihe der GTZ. Eschborn, Germany. ISBN: 3880854629, 9783880854628.
- Sieverding, E., G. A. da Silva, R. Berndt, and F. Oehl. 2014. *Rhizoglomus*, a new genus of the *Glomeraceae*. *Mycotaxon* 129: 373-386. doi: 10.5248/129.373.
- Sulistiono, W., T. Taryono, P. Yudono, and I. Irham. 2017. Early-arbuscular mycorrhizal fungi-application improved physiological performances of sugarcane seedling and further growth in the dry land. *J. Agric. Sci.* 9: 95-108. doi: 10.5539/jas.v9n4p95.
- Guerrero Useda, M. E. y J. D. Escobar Guzmán. 2015. Eficiencia técnica de la producción de panela. *Rev. Tecnol.* 14: 107-116.
- Ventura, M. V. A., J. B. de Moura, R. J. Souza, W. G. Viera, E. C. V. Rocha, and J. C. Silva. 2018. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi in the establishment of pre-broken sugar cane. *Agric. For.* 64: 149-157. doi: 10.17707/AgricultForest.64.3.13.