

Artículo Original

**HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN
CAÑA DE AZÚCAR Y SU RELACIÓN EN CALIDAD Y
RENDIMIENTO DE PANELA**

**ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN SUGARCANE AND THEIR
RELATIONSHIP WITH PANELA QUALITY AND YIELDS**

Wilmar Alexander Wilches Ortiz ^{1, 2*} <https://orcid.org/0000-0002-2905-3347>
María Margarita Ramírez Gómez ¹ <https://orcid.org/0000-0002-7407-7321>
Laura Maria Reyes Mendez ² <https://orcid.org/0000-0002-3782-8747>
Urley Adrian Perez Moncada ¹ <https://orcid.org/0000-0002-3069-3237>
Diana Paola Serralde Ordoñez ¹ <https://orcid.org/0000-0001-6422-5071>
Andrea Maria Peñaranda Rolón ¹ <https://orcid.org/0000-0003-1231-646X>

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, CP 250047. Mosquera - Cundinamarca, Colombia.

² Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería. CP 111511. Bogotá DC, Colombia.

Recibido: Marzo 17, 2022; Revisado: Marzo 28, 2022; Aceptado: Abril 7, 2022

RESUMEN

Introducción:

En Colombia la panela es un alimento ancestral obtenido por concentración a partir de extracción de jugos de la caña azucarera. Los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) ayudan al intercambio y movilidad de nutrientes al asociarse con plantas, mejorando la calidad y rendimiento en diferentes sistemas productivos.

Objetivo:

Evaluar el efecto de la inoculación con HFMA en el cultivo de la caña de azúcar sobre el rendimiento y la calidad en panela.

Materiales y Métodos:

El estudio se desarrolló en Suaita, Santander, bajo un diseño de bloques completos al azar, por triplicado con cuatro tratamientos (T1: *Acaulospora mellea*, T2: *Rhizophagus irregularis*, T3: Control 50% y T4: Control 100% de fertilización). Las variables en caña fueron índices de madurez y toneladas por hectárea, y en panela se determinaron



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Wilmar A. Wilches, Email: wwilches@agrosavia.co



rendimiento, toneladas por hectárea, conversión a panela, azúcares reductores, sólidos totales, pH, humedad, sacarosa y fósforo soluble.

Resultados y Discusión:

Se presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en el índice de madurez con el T2 y mayor contenido de azúcares reductores en panela con el T1, en las demás variables se observó un beneficio de la inoculación respecto los controles, siendo T2 el tratamiento con valores altos en producción de tallos. ha^{-1} , toneladas caña. ha^{-1} ; y T1 en conversión a panela, azúcares reductores, fósforo soluble y sólidos totales.

Conclusiones:

Se encontró interacción de *R. irregularis* y *A. mellea* con la calidad y rendimiento en panela, obteniéndose resultados prometedores del uso de estos microorganismos para potencializar la sostenibilidad y competitividad de la caña azucarera para panela.

Palabras clave: *Acaulospora mellea*; azúcar no centrifugado; caña de azúcar; micorrizas; *Rhizophagus irregularis*.

ABSTRACT

Introduction:

In Colombia, panela is an ancestral food obtained by concentration from the extraction of sugarcane juice. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) help the exchange and mobility of nutrients by associating with plants, improving quality and yield in different production systems.

Objective:

To evaluate the effect of AMF inoculation in sugarcane cultivation on panela yield and quality.

Materials and Methods:

The study was carried out in Suaita, Santander, under a randomized complete block design, in triplicate with four treatments (T1: *Acaulospora mellea*, T2: *Rhizophagus irregularis*, T3: control 50% and T4: control 100% fertilization). The variables in sugarcane were maturity indexes and tons per hectare, and in panela yield, tons per hectare, conversion to panela, reducing sugars, total solids, pH, moisture, sucrose, and soluble phosphorus were determined.

Results and Discussion:

There were significant differences ($P > 0.05$) in the maturity index with T2 and a higher content of reducing sugars in panela with T1, in the other variables, a benefit of the inoculation with respect to the controls was observed, being T2 the treatment with the highest values in production of stems. ha^{-1} , tons of cane. ha^{-1} ; and T1 in conversion to panela, reducing sugars, soluble phosphorus and total solids.

Conclusions:

Interaction of *R. irregularis* and *A. mellea* with panela quality and yield was found, obtaining promising results for the use of these microorganisms to enhance the sustainability and competitiveness of sugarcane for panela.

Keywords: *Acaulospora mellea*; non-centrifugal sugar; sugarcane; mycorrhiza; *Rhizophagus irregularis*.

1. INTRODUCCIÓN

El azúcar no centrifugado (NCS, por sus siglas en inglés), término técnico utilizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1994), es un azúcar sin refinar típico que se produce deshidratando el jugo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (Ge y col., 2021). Su presentación comercial es en forma sólida (bloques) o en forma granulada. El NCS está disponible en muchos países con diferentes nombres locales, incluidos panela (Bolivia, Colombia, Ecuador, Guatemala, Panamá), raspadura (Brasil, Cuba, Bolivia, Panamá), piloncillo (México), papelón (Venezuela), chancaca (Chile, Perú), jaggery (India), Kokuto (Japón) y Gula Melaka (Malasia) (Jaffé, 2012); (Asikin y col., 2014). Colombia es el segundo productor de panela (NCS) en el mundo después de la India, con un área anual de caña para la producción reportado para el 2020 de 192863 ha con un rendimiento de 6,5 tha⁻¹ (MADR, 2021). La panela es un producto con alto contenido de sacarosa (65-85 %), seguido de azúcares reductores (10-15 %), agua (3-10 %) y materia insoluble como grasas, proteínas, minerales, hierro y fósforo (<1 %) (Rupe, 2007). El Ministerio de Salud y Protección Social estableció la norma colombiana que indica como parámetros de calidad en panela, la sacarosa, pureza, azúcares reductores, fosfatos, pH, humedad y sólidos totales solubles (Minsalud, 2006). En el sector productivo falta consolidar una producción rentable, competitiva y sostenible que logre mejorar el rendimiento y la calidad de la panela, es aquí donde el uso de microorganismos benéficos como los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) pueden inferir, debido a la asociación que generan con algunas plantas mejorando el intercambio y movilidad de nutrientes. Diferentes estudios en caña de azúcar han identificado beneficios de la asociación de los HFMA en el manejo nutricional, el estrés hídrico (Datta y Kulkarni, 2012), la fisiología y el rendimiento de la planta (Sulistiono y col., 2017; Wilches-Ortiz y col., 2019). Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inoculación con HFMA en el cultivo de la caña de azúcar sobre el rendimiento y la calidad en panela.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

El estudio se realizó en una finca de productor en el municipio de Suaita, departamento de Santander, Colombia a 1233 msnm en condiciones de campo en un área de 3292 m².

2.2. Material vegetal

Se utilizó la variedad CC93-7711 (Pierna Bella), la cual fue previamente evaluada y caracterizada agroindustrialmente por el convenio Agrosavia-Cenicaña (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia) y entregada a agricultores de la zona en el 2013. Se realizó la extracción manual de semillas de caña, las cuales fueron germinadas en canastillas con sustrato inerte en el Centro de Investigación Cimpa de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), ubicado en Barbosa, Santander.

2.3. Trasplante en vivero e inoculación de microorganismos

Se utilizaron los HFMA *R. irregularis* y *A. mellea* (figura 1) pertenecientes a la colección de trabajo del Banco de Germoplasma de la Colección de Microorganismos con Interés en Biofertilizantes (CMIB) de Agrosavia, por presentar un efecto benéfico en diferentes variedades de caña evaluadas anteriormente (Wilches-Ortiz y col., 2019). La multiplicación de los HFMA se realizó utilizando como hospedero plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) sembradas en macetas de 500 g de capacidad, usando como sustrato suelo:arena (2:1 v/v). El control de calidad del inóculo se realizó cinco meses después mediante la técnica de tamizado húmedo y decantación propuesta por Gerdemann y Nicolson, (1963), con un recuento de 42 esporas.g⁻¹. La inoculación de los HFMA se realizó con 70 esporas por planta al momento del trasplante de la variedad de caña CC 93-7711 en vivero.

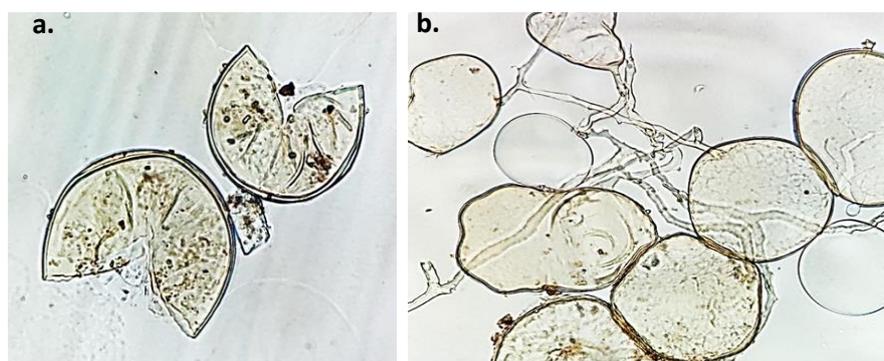


Figura 1. Esporas de los HFMA evaluados, fotografía microscópica con aumento de 40x en solución de alcohol polivinílico-ácido láctico glicerol (PVLG)

a) *Acaulospora mellea*. b) *Rhizophagus irregularis*

2.4. Diseño experimental

En un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones, se evaluaron cuatro tratamientos en donde se incluyeron dos microorganismos de HFMA (tabla 1). Como tratamientos control se utilizaron dos dosis de fertilización, uno con el 50% (igual que los tratamientos de inoculación) y el otro con el 100% de la fertilización química, que se realizó teniendo en cuenta el análisis químico del suelo y los requerimientos nutricionales en caña panelera reportados por González y col., (2018). El esquema de fertilización se fraccionó a los dos y cuatro meses después de trasplante, teniendo en cuenta los requerimientos por hectárea de elementos mayores y menores así: N (170 kg), P₂O₅ (50 kg), K₂O (240 kg), Ca (90 kg), MgO (60 kg), S (45 kg), Si (320 kg), Fe (12 kg), Mn (1,5 kg), Cu (0,128 kg), Zn (1,8 kg), B (0,522 kg). El ensayo se mantuvo bajo condiciones de manejo agronómico hasta el momento de la primera cosecha a los 15 meses después de trasplante (mdt).

Tabla 1. Descripción de tratamientos en la localidad de Suaita

<i>Tratamiento</i>	<i>Microorganismos</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fertilización</i>
T1	HFMA 1	<i>Acaulospora mellea</i>	50%
T2	HFMA 2	<i>Rhizophagus irregularis</i>	50%
T3	Sin inoculación	Control	50%
T4	Sin inoculación	Control manejo convencional	100%

2.5. Rendimiento en caña de azúcar

Se determinó el índice de madurez en cañas con un refractómetro digital, relacionando los grados brix en el cuarto entrenudo hacia arriba desde la base del tallo y en el cuarto entrenudo hacia abajo desde la parte apical del tallo (Ramírez y col., 2014). Cuando los materiales alcanzaron su índice de madurez adecuado (0,95 a 1,00) para cosecha, se realizó conteo y pesaje de los tallos presentes en 2 metros lineales, en tres puntos de unidad de muestreo para determinar la masa fresca. Con la información obtenida de la cosecha se determinó el rendimiento de toneladas de caña por hectárea (TCH) de acuerdo con la ecuación 1. Se destaca una distancia de siembra entre surcos de 1,3 metros.

$$TCH = \left(\frac{MFr \cdot Um \cdot Mlh}{Um} \right) / 1000000 \quad (1)$$

Conversiones:

TCH. Toneladas de caña por hectárea (t.ha⁻¹)

MFr: Masa Fresca de tallos (kg)

Um: Unidad de muestreo (2 m lineales).

Mlh: Metros lineales de tallos de caña en una hectárea (7692,3 m).

2.6. Obtención de panela y sus rendimientos

A partir de la caña cosechada se determinó el rendimiento de panela (%) y toneladas de panela por hectárea (TPH). Se colectaron 15 kg de caña por cada unidad experimental (UE) y se realizó la prueba de molienda en el trapiche de Cimpa-Agrosavia. Para la obtención de panela se siguieron los procedimientos de apronte, clarificación, evaporación y concentración, batido, enfriamiento y moldeo, descritos por Guaman y col., (2009) y Núñez (2020). La caña colectada en campo, el jugo obtenido y la panela en bloque se pesaron de manera individual por cada UE, se utilizaron las ecuaciones reportadas por Volverás y col., (2020) de caña requerida (CR) (ecuación 2) para el cálculo del porcentaje de conversión de caña a panela (CCP) (ecuación 3) y toneladas de panela por hectárea (TPH) (ecuación 4).

$$CR = \left(\frac{4 \text{ kg de jugo} \cdot PCxUE(kg)}{JO \cdot UE (kg)} \right) \quad (2)$$

$$CCP (\%) = \left(\frac{PO \cdot UE (kg)}{CR} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

$$TPH = \left(\frac{TCH \cdot CCP (\%)}{100} \right) \quad (4)$$

Conversiones:

UE. Unidad experimental

CR: Caña requerida para 4 kg de jugo (uds).

PC: Peso de la caña (kg).

JO: Jugo Obtenido (kg).

CCP: Conversión de caña a panela.

PO: Panela obtenida (uds).

TPH: Toneladas de panela por hectárea.

TCH: Toneladas de caña por hectárea.

2.7. Caracterización fisicoquímica de panela

En el laboratorio del Cimpa-Agrosavia se determinaron los parámetros de sólidos solubles totales (refractómetro), potencial de hidrógeno (pH-metro), sacarosa (polarímetro), azúcares reductores por método volumétrico (Lane y Eynon, 1923), fósforo soluble (Método ácido ascórbico-espectrofotometría), pureza y porcentaje de

humedad, acorde a la normatividad vigente en panela (Minsalud, 2006).

2.8. Análisis estadísticos

Todos los experimentos se realizaron por triplicado y los datos se expresaron como media \pm desviación estándar. Se realizó análisis de varianza ($\alpha = 0,05$), prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$) y análisis de correspondencia canónica entre los tratamientos con los parámetros fisicoquímicos de la panela. Se utilizó el software estadístico R[®] (R Core Team, 2020) con las librerías corrplot, CCA (González y Déjean, 2021) y ggplot2 (Wickham, 2016).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Rendimiento en caña de azúcar

Con base en los resultados obtenidos no se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la TCH a los 15 meses después de trasplante (mdt). Sin embargo, el tratamiento *R. irregularis* con el 50 % de fertilización (T2) registró valores de caña más altos ($157,5 \text{ t.ha}^{-1}$) con respecto a los demás tratamientos (figura 2a) y al promedio nacional de 139 TCH (Ramírez y col., 2014), mostrando que la inoculación con *R. irregularis*, permite la sustitución hasta del 50% del fertilizante químico de síntesis, coincidiendo con diferentes autores que reportan el beneficio del uso de los HFMA, que permiten obtener una mayor cantidad de tallos de caña por unidad de área (Datta y Kulkarni, 2012; Sulistiono y col., 2017; Ehsanipour y col., 2019; Wilches-Ortiz y col., 2019). Con respecto al índice de madurez de la caña a los 15 meses después de trasplante mdt se observan diferencias estadísticas, en donde la inoculación con *R. irregularis* (T2) presentó el valor más alto (Figura 2b), coincidiendo con Ehsanipour y col., (2019) que consideraron que la inoculación con HFMA favorece de forma positiva la obtención del índice de madurez adecuado para la cosecha de la caña de azúcar.

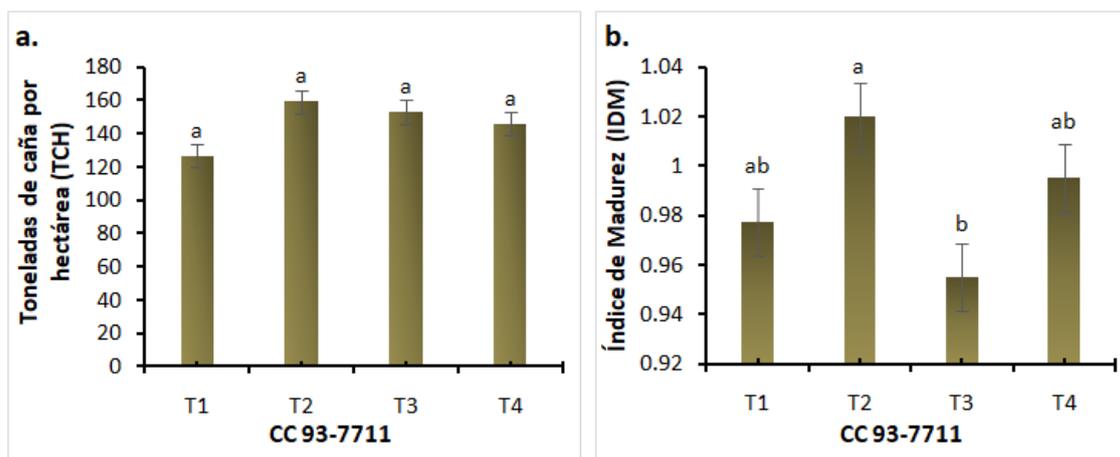


Figura 2. Gráficos de resultados en caña de azúcar. **a).** Rendimiento de caña por hectarea (t.ha^{-1}). **b).** Índice de madurez a los 15 mdt. T1: *A. mellea*, T2: *R. irregularis*, T3: Control 50% fertilización sin inoculación, T4: Control 100% fertilización sin inoculación. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0,05$)

3.2. Rendimiento en panela

Volverás y col., (2020) reportan que el porcentaje de conversión de caña a panela (rendimiento a panela) tiene una alta importancia económica y técnica. La variable de

conversión de panela no presentó diferencias estadísticas, pero se observó que el tratamiento de inoculación de *A. mellea* con el 50 % de fertilización (T1) logró sobrepasar en un 0,05 % al T4 (figura 3a), demostrando que la inoculación de este microorganismo puede reducir la fertilización en un 50%. Estudios realizados por Volverás y col., (2020) encontraron que el porcentaje de conversión a panela disminuyó en tratamientos con menores aportes de fertilizantes N-P-K, por tanto la inoculación de *A. mellea* contribuye en la fertilización con un porcentaje igual o mayor de conversión de caña a panela. En la variable de toneladas de panela por hectárea (TPH) no se encontraron diferencias estadísticas (figura 3b). Sin embargo, se observó que T2 (*R. irregularis* con el 50 % de fertilización) presentó un rendimiento mayor T4, demostrando los beneficios de la inoculación con este microorganismo, reflejada en un incremento de 3,33 TPH respecto al control (T4) (figura 3b).

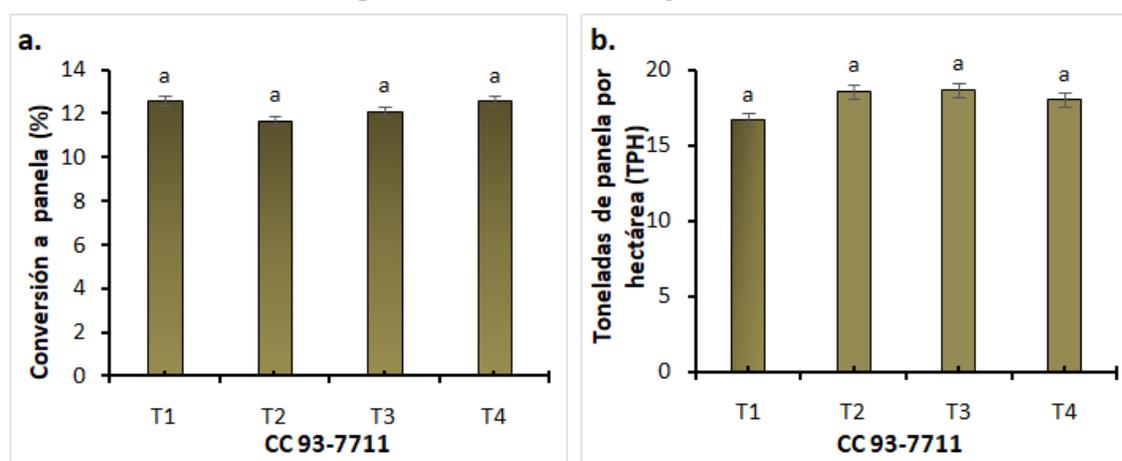


Figura 3. Gráficos de resultados en panela. **a.** Porcentaje de conversión de caña a panela. **b.** Producción toneladas de panela por hectárea. T1: *A. mellea*, T2: *R. irregularis*, T3: Control 50% fertilización sin inoculación, T4: Control 100% fertilización sin inoculación. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0,05$)

3.3 Caracterización fisicoquímica de panela

En los tratamientos evaluados se presentaron diferencias estadísticas en los azúcares reductores siendo T1 (*A. mellea* con el 50 % de fertilización) el que presentó el mayor valor (9,3 %), en concordancia con Durán (2010), quien menciona que un contenido aceptable en panela no debe superar el 10 %, para evitar problemas de calidad (consistencia y vida útil). Según la norma colombiana, los contenidos totales de azúcares reductores y sacarosa deben estar en rangos de 5,5 a 12 % y de 75 a 83 %, respectivamente (Minsalud, 2006), lo que concuerda con los resultados obtenidos (figura 4).

Se coincide con reportes que atribuyen a los HFMA un mayor incremento en la concentración de azúcares, como *Glomus clarum* en fresa (Soria, 2012), consorcios HFMA en maíz (Samano, 2014) y *Rhizophagus intraradices* en trigo (Gupta y col., 2021), adicionalmente, aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas en el fósforo soluble se destaca en el T1 un valor del 25% mayor al T4, así como un mayor porcentaje de humedad (10,2 %) con el T2 respecto a los demás tratamientos, valor que se encuentran en el rango (1,5 a 15,8%) reportado en panela (Jaffé, 2015; Lee y col., 2018).

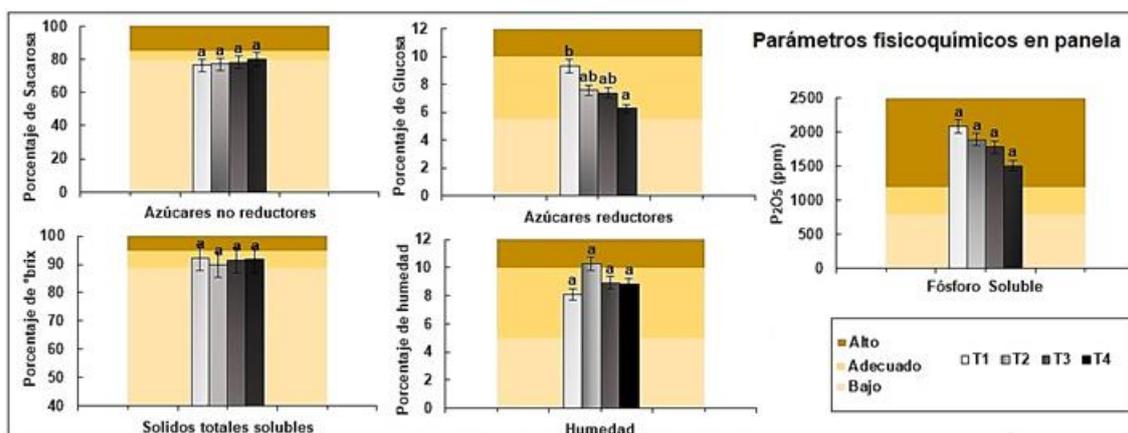


Figura 4. Características fisicoquímicas de panela. T1: *A. mellea*, T2: *R. irregularis*, T3: Control 50% fertilización sin inoculación, T4: Control 100% fertilización sin inoculación. Medias con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0,05$)

Por otra parte, en la figura 5 se ilustra el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con un 89,7% de la varianza total, destacándose en panela la correlación directa entre *A. mellea* con las variables de azúcares reductores y la humedad. Otros autores han informado la intervención de los HFMA con el incremento del contenido de azúcares en trigo (*Triticum aestivum* L.) como respuesta a la inoculación con *Rhizophagus irregularis* “antes” *R. intraradices* (Gupta y col., 2021).

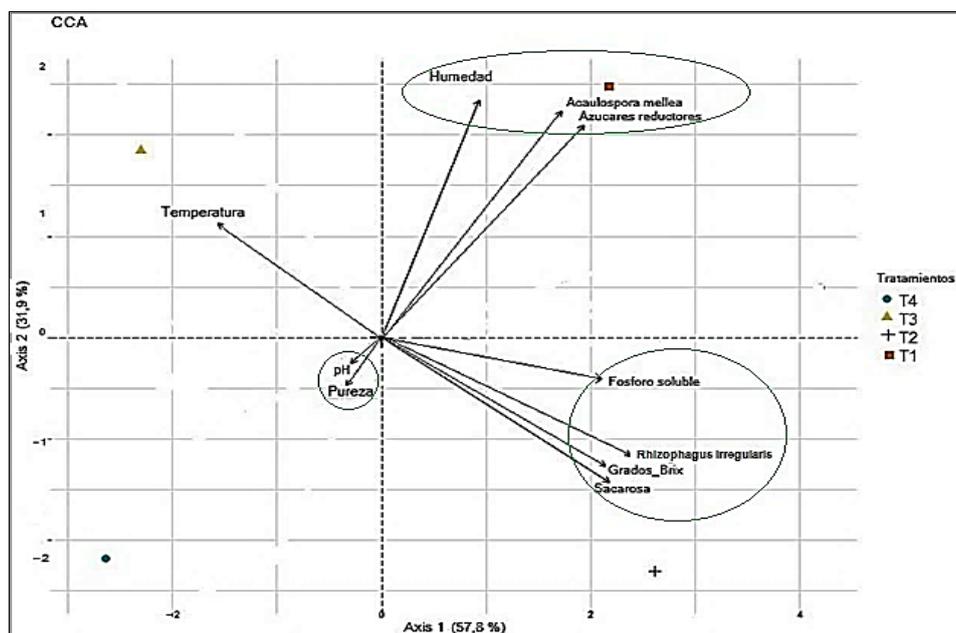


Figura 5. Análisis de correspondencia canónica (ACC) de las características fisicoquímicas de panela de caña de azúcar en relación con la inoculación de HFMA. T1: *A. mellea*, T2: *R. irregularis*, T3: Control 50% fertilización sin inoculación, T4: Control 100% fertilización sin inoculación

Se obtuvo una respuesta positiva entre *R. irregularis* y el contenido fósforo soluble en panela, esta relación se ha descrito en otros estudios, como el reportado por Baslam y col., (2011) en lechuga (*Lactuca sativa* L.) con un aumento nutricional de fosfatos,

debido a los HFMA inoculados. Schubert y col., (2020) encontraron que las cepas de *Rhizophagus irregularis* mejoran la calidad y los grados brix en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), lo cual coincide con el beneficio y la correlación de *R. irregularis* con los grados brix obtenidos en panela (figura 5). En forma similar se encontró relación positiva de *R. irregularis* con la sacarosa en panela (figura 5), coincidiendo con otros estudios, como el de Shao y col., (2019), en donde obtuvieron un mejoramiento en la calidad de las hojas del Té (*Camellia sinensis* L.) con mayores contenidos de sacarosa con la inoculación de HFMA (*Claroideoglossum etunicatum*, *Diversispora spurca* y *Diversispora versiformis*).

4. CONCLUSIONES

1. En el presente estudio se encontró una respuesta positiva a la inoculación con HFMA 1 y 2 en la variedad de caña de azúcar CC93-7711 y su relación con la calidad y rendimiento de panela. Se presentaron diferencias estadísticas ($P > 0,05$) en el índice de madurez con *R. irregularis* (T2) y un mayor contenido de azúcares reductores en panela con *Acaulospora mellea* (T1). En las demás variables se observó un beneficio de la inoculación con respecto a los controles, siendo T2 el tratamiento con los mayores valores en producción de tallos.ha⁻¹, toneladas caña.ha⁻¹; y T1 con mayores valores de conversión a panela, azúcares reductores, fósforo soluble y sólidos totales.
2. Las correlaciones demostraron una interacción de *A. mellea* con la humedad y azúcares reductores, y de *R. irregularis* con los sólidos totales, sacarosa y fósforo soluble de panela.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia - MADR, por la financiación y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), por la ejecución del producto: “*Generación de recomendaciones agronómicas y nuevas tecnologías en la producción de panela en Colombia*”. Convenio TV-16.

REFERENCIAS

- Asikin, Y., Kamiya, A., Mizu, M., Takara, K., Tamaki, H., & Wada, K., Changes in the physicochemical characteristics, including flavour components and Maillard reaction products, of non-centrifugal cane brown sugar during storage., *Food Chemistry*, Vol. 149, 2014, pp. 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.089>
- Baslam, M., Pascual, I., Sánchez-Díaz, M., Erro, J., García-Mina, J.M., & Goicoechea, N., Improvement of nutritional quality of greenhouse-grown lettuce by arbuscular mycorrhizal fungi is conditioned by the source of phosphorus nutrition., *Journal of agricultural and food chemistry*, Vol. 59, No. 20, 2011, pp. 11129-11140. <https://doi.org/10.1021/jf202445y>
- Datta, P., & Kulkarni, M., Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in sugarcane rhizosphere in relation with soil properties., *Notulae Scientia Biologicae*, Vol. 4, No. 1, 2012, pp. 66-74. <https://doi.org/10.15835/nsb416567>

- Durán, N., Reingeniería panelera., Vol 1. Editorial Produmedios., 2010, pp. 133-148. <https://isbn.cloud/9789584475770/reingenieria-panelera/>
- Ehsanipour, A., Abbasdokht, H., Gholipour, M., & Abdali Mashhadi, A., Evaluation of the effect of intercropping sugarcane-legume on the quantitative, qualitative and physiological characteristics of sugarcane., *Crop physiology Journal*, Vol. 11, No. 42, 2019, pp. 105-126. <http://cpj.iauhvaz.ac.ir/article-1-1190-en.html>
- FAO., Definition and Classification of Commodities. Sugar Crops and Sweeteners and Derived Products., 1994. <http://www.fao.org/es/faodef/fdef03e.HTM>. (Accessed on 21 February 2022).
- Ge, Y., Li, K., Xie, C., Xu, Y., Shi, C., Hang, F., & Doherty, W.O., Formation of volatile and aroma compounds during the dehydration of membrane-clarified sugarcane juice to non-centrifugal sugar., *Foods*, Vol. 10, No. 1561, 2021, pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/foods10071561>
- Gerdemann, J.W., & Nicolson, T.H., Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting., *Transactions of the British Mycological society*, Vol. 46, No. 2, 1963, pp. 235-244. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(63)80079-0)
- González, F., Cabezas, M., Ramírez-Gómez, M., & Ramírez, J., Macronutrient absorption curves in three varieties of sugarcane (*saccharum officinarum l.*) for panela in the Hoya del Río Suárez., *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, Vol. 21, No. 2, 2018, pp. 395-404. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.995>
- González, I., & Déjean, S., CCA: Canonical Correlation Analysis., Package. R package version 1.2.1, 2021, pp. 1-14. <https://cran.r-project.org/web/packages/CCA/CCA.pdf>
- Guaman, F., & Guaman, E., Diseño, simulación y emulación de una planta productora de panela., Tesis presentada en opción al Grado Especialización en Electrónica y Automatización Industrial en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, 2009. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/44305>
- Gupta, S., Thokchom, S.D., & Kapoor, R., Arbuscular mycorrhiza improves photosynthesis and restores alteration in sugar metabolism in *Triticum aestivum L.* grown in arsenic contaminated soil., *Frontiers in Plant Science*, Vol. 12:640379, 2021, pp. 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.640379>
- Jaffé, W.R., Health effects of non-centrifugal sugar (NCS): a review., *Sugar tech*, Vol. 14, No. 2, 2012, pp. 87-94. <https://doi.org/10.1007/s12355-012-0145-1>
- Jaffé, W.R., Nutritional and functional components of non centrifugal cane sugar: a compilation of the data from the analytical literature., *Journal of food composition and Analysis*., Vol. 43, 2015, pp. 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.06.007>
- Lane, J.H., & Eynon, L., Volumetric determination of reducing sugars by means of Fehling's solution, with methylene blue as internal indicator. *International Sugar Journal*., Vol. 25, 1923, pp. 143-149.
- Lee, J.S., Ramalingam, S., Jo, I.G., Kwon, Y.S., Bahuguna, A., Oh, Y. S., Kwon, O.J., & Kim, M., Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars., *Food Research International*, Vol. 109, 2018, pp. 614-625. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.047>

- MADR., Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Cadena de la panela., Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas, 2021, pp. 2-3. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Panela/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Minsalud., Ministerio de Salud y Protección Social., Resolución número 000779 de 2006. Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir en la producción y comercialización de la panela para consumo humano y otras disposiciones., Diario oficial 46223, 2006, pp. 1-10. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion-779-de-2006.pdf>
- Núñez, L.C., Estrategia tecnológica en la etapa de la molienda de producción de panela de los pequeños productores de la Hoya del Río Suárez., Tesis presentada en opción al Grado Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2020. <http://hdl.handle.net/11349/25706>
- Ramírez, J., Insuasty, O., & Viveros, C.A., Comportamiento agroindustrial de diez variedades de caña de azúcar para producción de panela en Santander, Colombia., Ciencia y Tecnología Agropecuaria., Vol. 15, No. 2, 2014, pp. 183-195. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num2_art:358
- R core team., R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing., 2020., <https://www.r-project.org/>, (Accessed on 15 February 2022).
- Rupe, S.S., QuotGrowth and prospect of jaggery industry in Kolhapur district of Maharashtra statequot., Chapter 2, Processing of jaggery, University Shivaji University, 2007, pp. 28-30. <http://hdl.handle.net/10603/138395>
- Samano, M., Efecto de un consorcio de hongos micorrízicos arbusculares de una zona geotérmica en maíz, bajo estrés hídrico., Tesis presentada en opción al Grado Máster en ciencias de la producción agrícola sustentable, Instituto Politécnico nacional - IPN, México, 2014. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/12787>
- Schubert, R., Werner, S., Cirka, H., Rödel, P., Tandron Moya, Y.; Mock, H.-P.; Hutter, I.; Kunze, G & Hause, B., Effects of arbuscular mycorrhization on fruit quality in industrialized tomato production., International journal of molecular sciences, Vol. 21, No. 19:7029, 2020, pp. 1-15. <https://doi.org/10.3390/ijms21197029>
- Shao, Y., Zhang, D., Hu, X., Wu, Q., Jiang, C., Gao, X., & Kuća, K., Arbuscular mycorrhiza improves leaf food quality of tea plants., Notulae Botanicae, Horti Agrobotanici, Cluj-Napoca, Vol. 47, No. 3, 2019, pp. 608-614. <https://doi.org/10.15835/nbha47311434>
- Soria, L., Calidad y rendimiento de Fresa inoculada con Hongos Micorrízicos Arbusculares., Tesis presentada en opción al Grado Máster en ciencias, Instituto Politécnico nacional - IPN, México, 2012. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12270>
- Sulistiono, W., & Yudono, P., Early-arbuscular mycorrhizal fungi-application improved physiological performances of sugarcane seedling and further growth in the dry land., Journal of Agricultural Science (Toronto), Vol. 9 No. 4, 2017, pp. 95-108. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n4p95>
- Volverás, B., González-Chavarro, C.F., Huertas, B., Kopp-Sanabri, E., & Ramírez-

- Durán, J., Effect of the organic and mineral fertilizer on the performance of sugarcane yield in Nariño, Colombia., *Agronomía Mesoamericana.*, Vol. 31, No. 3, 2020, pp. 545-563. <https://doi.org/10.15517/am.v31i3.37334>
- Wickham H., *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.*, Springer-Verlag: New York, NY, USA, 2016. <https://ggplot2.tidyverse.org>. (Accessed on 15 February 2022).
- Wilches-Ortiz, W.A., Ramírez Gómez, M.M., Pérez Moncada, U.A., Serralde Ordoñez, D.P., Peñaranda Rolon, A.M., & Ramírez, L., Association of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) with sugarcane plants (*Saccharum officinarum*) for panela production in Colombia. *Terra Latinoamericana*, Vol. 37 No. 2, 2019, pp. 175-184. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Wilmar Alexander Wilches Ortiz. Toma y procesamiento de datos experimentales, análisis de resultados, escritura y correcciones del artículo.
- Dra.C. María Margarita Ramírez Gómez. Formulación del proyecto, escritura, redacción y correcciones del artículo.
- Dra.C. Laura María Reyes Mendez. Redacción y revisiones del artículo.
- M.Sc. Urley Adrian Perez Moncada. Toma de datos, redacción y revisión del artículo.
- M.Sc. Diana Paola Serralde Ordoñez. Redacción y revisiones del artículo.
- M.Sc. Andrea Maria Peñaranda Rolón. Redacción y revisiones del artículo.