



## EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN MINERAL, ORGÁNICA Y BIOLÓGICA EN EL DESARROLLO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

### EFFECT OF MINERAL, ORGANIC AND BIOLOGICAL FERTILIZATION ON SUGARCANE DEVELOPMENT

Marianguadalupe Hernández-Arenas<sup>1</sup>, Roberto de la Cruz Díaz-Juárez<sup>1\*</sup>,  
Petra Andrade-Hoyos<sup>1</sup>, Martha Blanca Guadalupe Irizar-Garza<sup>2</sup> y Alejandro Perez-Rosales<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Zacatepec, Morelos, México. <sup>2</sup>INIFAP, Campo Experimental Valle de México, Texcoco, Estado de México, México.

\*Autor de correspondencia (diaz.roberto@inifap.gob.mx)

#### RESUMEN

La caña de azúcar requiere altas cantidades de nutrientes para su desarrollo. La incorporación de biofertilizantes como los hongos formadores de micorrizas (HFMA) y la lombricomposta pueden favorecer las características del suelo y el desarrollo general del cultivo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fertilización química en combinación con HFMA (*Glomus intraradices*) y lombricomposta sobre los componentes de rendimiento de la caña de azúcar. El experimento se estableció en el INIFAP, Campo Experimental Zacatepec en el estado de Morelos, México en el ciclo 2023-2024, usando caña de azúcar variedad CP 72-2086 soca I, en un experimento de bloques completos al azar con arreglo factorial  $6 \times 3$  (seis dosis de fertilización mineral con 0 a 300 unidades de nitrógeno y tres de bioinsumos con HFMA, lombricomposta y sin bioinsumo). Las variables respuesta fueron altura de tallo moledero (m), diámetro de tallo (mm), número de tallos por metro lineal, longitud de entrenudo (cm), número de entrenudos por tallo, rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) y el peso de 10 tallos a los 12 meses después del rebrote. Se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 5\%$ ) con el paquete estadístico SAS versión 9.4. Los resultados indicaron que hubo diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización mineral combinada con lombricomposta o micorrizas para altura de tallo moledero, número de entrenudos y número de tallos por metro lineal. Las combinaciones de fertilización mineral con lombricomposta y HFMA mostraron diferencias significativas positivas en las variables altura de tallo moledero, número de tallos por metro lineal y número de entrenudos. La dosis de fertilización mineral N (300),  $P_2O_5$  (100),  $K_2O$  (200) sola o en combinación con lombricomposta permitió el mejor desarrollo de las plantas de caña e incremento en rendimiento. La combinación de la fertilización mineral con lombricomposta superó a los tratamientos de fertilización mineral sola o en combinación con HFMA. Es necesario evaluar, a mediano y largo plazo, el efecto de la aplicación de la lombricomposta y HFMA en el suelo con cultivos de alta demanda nutricional como la caña de azúcar.

**Palabras clave:** *Saccharum officinarum* L., *Glomus intraradices*, fertilizantes, lombricomposta.

#### SUMMARY

Sugarcane requires high amounts of nutrients for development. The addition of biofertilizers such as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and vermicompost can improve soil characteristics and overall crop development. This study aimed to evaluate the effect of applying different doses of chemical fertilizers in combination with AMF (*Glomus intraradices*) and vermicompost

on sugarcane yield components. The experiment was established at INIFAP, Zacatepec Experiment Station in the state of Morelos, Mexico in the 2023-2024 growing season using sugarcane variety CP 72-2086 cycle ratoon I, in a randomized complete block design with a  $6 \times 3$  factorial arrangement (six doses of mineral fertilization with 0 to 300 units of nitrogen and three types of bio-inputs with AMF, vermicompost and with no bio-input). The response variables were millable stalk height (m), stalk diameter (mm), number of stalks per linear meter, internode length (cm), number of internodes per stalk, yield ( $t\ ha^{-1}$ ) and weight of 10 stalks at 12 months after sprouting. Analysis of variance and Tukey means comparison test ( $P \leq 5\%$ ) were performed with the SAS statistical package version 9.4. Results indicated significant differences between mineral fertilization treatments combined with vermicompost or mycorrhizae for millable stalk height, number of internodes, and number of stalks per linear meter. Combinations of mineral fertilization with vermicompost and AMF showed significant positive differences in the traits millable stalk height, number of stalks per linear meter, and number of internodes. The dose of mineral fertilization N (300),  $P_2O_5$  (100), and  $K_2O$  (200), alone or in combination with vermicompost, allowed for better sugarcane plant development and increased yield. The combination of mineral fertilization with vermicompost outperformed the mineral fertilization treatments alone or in combination with AMF. It is necessary to evaluate, in the medium and long term, the effect of applying vermicompost and AMF on soil with high nutritional demand crops such as sugarcane.

**Index words:** *Saccharum officinarum*, *Glomus intraradices*, fertilizers, vermicompost.

#### INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es un cultivo altamente extractor de nutrientes del suelo y requiere considerables dosis de fertilizante para cubrir sus necesidades nutrimentales. El rendimiento promedio de campo en México es de  $67.64\ t\ ha^{-1}$ , mientras que en el Estado de México, Puebla y Morelos se registraron rendimientos de  $93.6$  a  $102.4\ t\ ha^{-1}$  (SIAP, 2024). La prolongada duración del ciclo del cultivo, así como su elevada capacidad de producción de biomasa, implica una extracción de nutrientes del suelo de  $800$  a  $1500\ kg\ ha^{-1}$  por año, sobresaliendo el nitrógeno, fósforo, potasio, silicio y otros nutrientes (Velasco-Velasco, 2014).

Los suelos cañeros se caracterizan por la escasa cantidad de materia orgánica presente, debido entre otros factores a la quema previa a la cosecha, así como a la limitada rotación de cultivos. Estos factores afectan la salud del suelo, la correcta absorción de nutrientes, la microbiología presente y, en consecuencia, el desarrollo del cultivo (Qin *et al.*, 2025).

El alto costo de los fertilizantes minerales y una transición hacia la sustentabilidad han incentivado la búsqueda y uso de alternativas, en la mayoría de los casos, mediante la combinación con abonos orgánicos e inoculación con microorganismos benéficos, como las bacterias solubilizadoras de nitrógeno y fósforo (Aguado-Santacruz *et al.*, 2024) y los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA). Los abonos orgánicos son producidos a base de materiales de origen animal o vegetal, mientras que los biofertilizantes son productos formulados a partir de uno o más microorganismos –generalmente consorcios bacterianos o fúngicos–, que al ser inoculados en plantas incrementan el suministro, la disponibilidad y el acceso físico de minerales, ya que optimizan su capacidad de absorción de agua y nutrientes, mejoran la calidad de los suelos al influir sobre su estructura contribuyendo a mejorar la salud de las plantas (Rouphael *et al.*, 2015; Thirkell *et al.*, 2017).

Los hongos micorrízicos arbusculares favorecen el ciclo y reciclaje de nutrientes del suelo. El hongo proporciona fósforo a la planta y mejora la adquisición de nitrógeno, y la planta a su vez transfiere carbohidratos al hongo; además, se han documentado diferentes casos en los que la inoculación de hongos micorrizógenos confieren tolerancia a las plantas frente a factores ambientales adversos como calor, salinidad, sequía, metales y temperaturas extremas (Reyes *et al.*, 2023).

De acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2008 (SE, 2007), la lombricomposta o humus de lombriz es el producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica mediante la crianza sistemática de lombrices de tierra. Por sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, a este producto se le han atribuido diversos beneficios para las plantas como fertilizante, inoculante microbiano, enraizador, germinador, mejorador o enmienda orgánica de suelos (Campitelli *et al.*, 2012; Del Águila *et al.*, 2011).

Actualmente, existen diversas opciones de fertilización complementaria o sustituta de la química; no obstante, se requiere determinar las dosis óptimas, frecuencia de aplicación, así como las posibles mezclas con fertilizantes químico-sintéticos debido a que en su mayoría, los biofertilizantes contienen una menor cantidad de nutrientes,

por lo que el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la aplicación de micorrizas y lombricomposta en combinación con diferentes dosis de fertilización convencional sobre el desarrollo y componentes de rendimiento de la caña de azúcar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio experimental y material vegetal

El experimento se estableció en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Zacatepec, Morelos, México situado en las coordenadas 18.652453, -99.201630 y altitud de 915 msnm, con un clima trópico seco. El estudio se desarrolló en un cultivo de caña de azúcar variedad CP 72-2086 en su ciclo soca I durante el año agrícola 2023-2024.

### Tratamientos y diseño experimental

El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial  $6 \times 3$  (seis dosis de fertilización mineral, con niveles de 0, 25, 50, 75 y 100 % de nitrógeno respecto a la dosis N (300),  $P_2O_5$  (100),  $K_2O$  (200) y el testigo regional N(180)  $P_2O_5$ (45)  $K_2O$  (30); y tres bioinsumos, la micorriza INIFAP (*Glomus intraradices*), lombricomposta comercial y sin bioinsumo). Los tratamientos se describen con mayor detalle en el Cuadro 1. La parcela experimental consistió de cinco surcos de 10 m de largo con tres repeticiones, la parcela útil fueron los tres surcos centrales, de los cuales se tomaron 3 m lineales por surco.

### Aplicación de los tratamientos y manejo agronómico

Las fuentes de fertilizante químico sintético fueron sulfato de amonio (20.5-00-00+23S), fosfato diamónico (18-46-00) y cloruro de potasio (00-00-60). La fertilización mineral se aplicó en dos fracciones, la primera a los 30 días del rebrote de la soca (50 % de nitrógeno, 100 % del fósforo, 50 % del potasio), en la etapa de pleno amacollamiento e inmediatamente después se realizó el aporque para cubrir el fertilizante. La segunda fracción (el nitrógeno y potasio restantes) se proporcionó cuatro meses después, durante la etapa de pleno crecimiento del cultivo. La lombricomposta ( $4 \text{ t ha}^{-1}$ ) se aplicó en su totalidad, junto con la primera fracción de la fertilización mineral. En los tratamientos con la micorriza, la primera dosis de  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  (46 esporas por g de producto comercial) en una solución de agua ( $200 \text{ L ha}^{-1}$ ) se proporcionó mediante solución aplicada al empapar con la primera dosis de la fertilización mineral, y una segunda ( $1 \text{ kg ha}^{-1}$ ) a los 30 días después. El manejo agronómico del cultivo se realizó de acuerdo con

las recomendaciones del INIFAP (Hernández-Arenas *et al.*, 2024). En todos los casos, se proporcionó riego rodado inmediatamente después de las aplicaciones.

**Variables respuesta**

Las variables evaluadas fueron altura de tallo moleadero (m), diámetro de tallo (mm), número de tallos por metro lineal, longitud de entrenudo (cm), número de entrenudos por tallo, rendimiento (t ha<sup>-1</sup>), estimado a partir del número de tallos por m lineal y peso de 10 tallos a los 12 meses después del rebrote.

**Análisis estadístico**

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey (P ≤ 5 %) utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2016).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Análisis de varianza**

El análisis de varianza en la primera fecha de evaluación, muestra diferencias significativas únicamente para la variable altura de tallo en ambos factores de estudio, tanto en las dosis de fertilización mineral y bioinsumos, así como en la interacción entre ambos (Cuadro 2).

En contraste, en la segunda fecha de evaluación, a los 12 meses de edad de la planta, se encontraron diferencias significativas en el efecto de la fertilización mineral únicamente en la variable número de tallos por metro lineal y una respuesta contrastante a la aplicación de bioinsumos en las variables altura y diámetro de tallo, así como número de tallos por metro lineal. La interacción de la fertilización mineral en combinación con los bioinsumos HFMA y lombricomposta arrojó diferencias significativas en la altura de tallo y número de entrenudos (Cuadro 3). Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con

**Cuadro 1. Listado de tratamientos y dosis utilizadas en el experimento de fertilización mineral, orgánica y biológica en caña de azúcar. Zacatepec, Morelos, México, 2023-2024.**

Tratamiento	Dosis de fertilización mineral			Bioinsumos
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
1	300	100	200	Micorriza (2.0 kg ha <sup>-1</sup> )
2	225	100	200	Lombricomposta (4 t ha <sup>-1</sup> )
3	150	100	200	Sin bioinsumo
4	75	100	200	
5	0	100	200	
6	180	45	30	

**Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza en la primera fecha de evaluación de los tratamientos a los cinco meses del rebrote de la planta.**

Fuente de variación	GL	Altura de tallo	Diámetro de tallo	Número de tallos por m lineal
Bloques	1	0.16 **	35.66 *	59.25 **
Fert. Mineral (Fer)	5	0.04 **	9.13 NS	13.77 NS
Bioinsumo (Bio)	2	0.13 **	12.62 NS	21.15 NS
Fer × Bio	10	0.04 *	7.89 NS	10.34 NS
Error	89	0.01	6.99	8.29

GL: grados de libertad, Fert. mineral: fertilización mineral, Fer × Bio: interacción de la fertilización mineral con los bioinsumos, NS: no significativo, \*: significativo con P ≤ 0.05, \*\*: significativo con P ≤ 0.01.

los de Wilches *et al.* (2022), quienes evaluaron dosis de fertilización mineral e inoculación con HFMA en dos variedades de caña de azúcar y no encontraron diferencias estadísticas en la altura, número de tallos y diámetro de tallo, no obstante que se observó un efecto benéfico sobre el crecimiento general de la planta.

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares desempeñan un papel vital en la promoción de la absorción de nutrientes por parte de las plantas, mejorando su resistencia al estrés y mejorando la fertilidad del suelo; sin embargo, los hongos micorrízicos arbusculares son muy susceptibles a la influencia de las prácticas de cultivo, especialmente la fertilización mineral en los ecosistemas agrícolas (Qin *et al.*, 2025). Entonces, es importante

determinar el nivel de interacción que pueden tener los HFMA con diferentes dosis y fuentes de fertilización mineral, para determinar las condiciones idóneas para su desarrollo y una respuesta favorable del cultivo de caña.

En el análisis de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) a los cinco meses de edad, se determinó que las dosis de fertilización mineral N (300),  $P_2O_5$  (100),  $K_2O$  (200) y sus variantes en dosis nitrogenada (0 a 100 %) favorecieron significativamente la altura de tallo con respecto al testigo regional (Cuadro 4). La aplicación de bioinsumos, tanto lombricomposta como HFMA, tuvieron diferencias significativas con incrementos en la altura de tallo en relación con los tratamientos sin bioinsumo en las primeras etapas de desarrollo de la planta (Cuadro 5).

**Cuadro 3. Cuadros medios del análisis de varianza en la segunda fecha de evaluación de los tratamientos a los 12 meses del rebrote de la planta.**

Fuente de variación	GL	Altura de tallo	Diámetro de tallo	Número de tallos por m lineal	Longitud de entrenudos	Número de entrenudos
Bloques	1	2.87 **	30.96 *	202.81 **	0.39 NS	0.75 NS
Fert. Mineral (Fer)	5	0.21 NS	11.01 NS	22.13 *	6.52 NS	7.43 NS
Bioinsumos (Bio)	2	0.60 **	42.55 **	34.02 *	7.95 NS	0.56 NS
Fer × Bio	10	0.23 *	6.78 NS	10.96 NS	5.89 NS	10.25 *
Error	89	0.11	8.37	7.20	4.20	5.35

GL: grados de libertad, Fert. mineral: fertilización mineral, Fer × Bio: interacción de la fertilización mineral con los bioinsumos, NS: no significativo, \*: significativo con  $P \leq 0.05$ , \*\*: significativo con  $P \leq 0.01$ .

**Cuadro 4. Respuesta de la caña de azúcar variedad CP 72-2086 soca I de cinco meses de edad, a diferentes dosis de fertilización mineral. Zacatepec, Morelos, 2023-2024.**

Tratamientos de fertilización química	Altura de tallo (m)	Diámetro de tallo (mm)	Número de tallos por metro lineal
300-100-200	1.83 a	31.05 a	17.39 a
225-100-200	1.72 ab	28.98 a	15.67 a
150-100-200	1.73 ab	30.69 a	17.39 a
75-100-200	1.76 ab	30.37 a	16.94 a
0-100-200	1.69 ab	30.22 a	18.22 a
180-45-30 (Testigo)	1.62 b	29.98 a	16.50 a
DSH 0.05	0.13	2.57	2.79
R <sup>2</sup>	0.39	0.23	0.27
CV (%)	7.7	8.75	16.92

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes Tukey ( $P \leq 0.05$ ), DSH: diferencia significativa honesta, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, CV: coeficiente de variación.

**Cuadro 5. Respuesta de la caña de azúcar variedad CP 72-2086 soca I de cinco meses de edad, a la aplicación de bioinsumos: HFMA y lombricomposta. Zacatepec, Morelos, 2023-2024.**

Tratamiento de bioinsumos	Altura de tallo (m)	Diámetro de tallo (mm)	Número de tallos por m lineal
Sin bioinsumo	1.67 b	30.13 a	17.86 a
Micorrizas	1.76 a	30.84 a	16.36 a
Lombricomposta	1.78 a	29.67 a	16.83 a
DSH 0.05	0.07	1.48	1.62
R <sup>2</sup>	0.39	0.23	0.27
CV (%)	7.7	8.75	16.92

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes Tukey ( $P \leq 0.05$ ), DSH: diferencia significativa honesta, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, CV: coeficiente de variación.

La mayoría de estudios realizados con HFMA en caña de azúcar se han efectuado en la etapa de plántula para trasplante o durante la siembra del primer año del cultivo. Ramírez *et al.* (2020) mencionaron que las micorrizas optimizan la fertilización mineral y, por tal razón, las plantas de caña inoculadas desde la siembra tienen un mejor desarrollo y mejor adaptación a condiciones de estrés durante el trasplante. A través de microscopía se ha demostrado la asociación simbiótica entre *G. intraradices* y *Saccharum* spp.; además, la aplicación temprana de dosis de 50 y 100 esporas por planta con 30 y 58% de colonización, en plántulas obtenidas *in vitro* durante la aclimatación, proporciona una ventaja de acondicionamiento antes del trasplante para el establecimiento de semilleros básicos de caña de azúcar (Moreno-Hernández *et al.*, 2022). La aplicación de HFMA en el ciclo soca de la caña de azúcar, a pesar de realizarse en forma de empapado pudo no ser adecuada para un eficaz establecimiento y asociación de las micorrizas con las raíces de caña de azúcar y favorecer el resultado obtenido.

En la segunda evaluación de campo se observó un efecto significativamente favorable, mediante la aplicación de lombricomposta, en el diámetro y número de tallos por metro lineal mientras que en la altura de tallo hubo un efecto similar a los tratamientos sin aplicación de bioinsumos o con aplicación de micorrizas (Cuadro 6).

La interacción entre la fertilización mineral y la aplicación de bioinsumos no mostró una tendencia específica en las variables evaluadas, por lo que únicamente se muestran los resultados de la segunda evaluación a los 12 meses de edad de la planta. En altura de tallo hubo mejor respuesta con la aplicación de micorrizas en combinación con dosis de nitrógeno de 0 a 150 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1). Al respecto, Qin *et al.* (2025) mencionaron que el aumento de la fertilización química inhibió la colonización micorrízica en las raíces

de la caña de azúcar en diversos grados; sin embargo, la sensibilidad de las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares a las tasas de fertilización química difiere entre las variedades de caña de azúcar. El diámetro de tallo (Figura 2) y el número de tallos por metro lineal (Figura 3) se incrementaron por la interacción entre la fertilización mineral con lombricomposta, especialmente en las dosis altas de nitrógeno en comparación con la interacción con las micorrizas o en ausencia de bioinsumos. Las aplicaciones de biofertilizantes y fertilizantes orgánicos poseen beneficios adicionales como mejoradores o enmiendas al suelo, también como fertilizantes, inoculantes microbianos, enraizadores, entre otros usos (Reyes *et al.*, 2023; Wilches *et al.*, 2019).

Por su parte, Ramírez *et al.* (2020) mencionaron que las micorrizas optimizan la fertilización mineral y, por tal razón, las plantas de caña inoculadas desde la siembra tienen un mejor desarrollo y mejor adaptación a condiciones de estrés durante el trasplante. Wilches *et al.* (2019) mencionaron que algunas especies de HFMA aumentan la eficiencia en el transporte de nutrientes, en específico del fósforo, poco móvil en el suelo, favoreciendo el desarrollo de biomasa vegetativa, mientras que otras especies no logran entrar en simbiosis con las raíces de la caña de azúcar. En el presente estudio la aplicación de micorrizas se realizó en etapa de soca de la caña de azúcar; es decir, durante el rebrote después de la primera cosecha, por lo que las raíces presentes ya estaban completamente desarrolladas y la aplicación mediante empapado pudo afectar la interacción con las micorrizas, ya que es necesario que el inóculo del hongo este en contacto directo con las raíces de la planta.

En experimento realizado por Wilches *et al.* (2022), donde se evaluaron dosis de fertilización e inoculación con HFMA en dos variedades de caña de azúcar, no se

registraron diferencias estadísticas en la altura, número de tallos y diámetro de tallo; no obstante; se observó un efecto benéfico sobre el crecimiento de la planta. El N y el K se requieren en grandes cantidades y su absorción corresponde al patrón de acumulación de biomasa. Por otra parte, el P se considera esencial para el amacollamiento, crecimiento de raíces y brotes, por lo que las micorrizas pueden favorecer estas variables al facilitar la absorción de P (Kingston, 2014).

En cuanto al rendimiento de campo estimado en t ha<sup>-1</sup>, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 4); no obstante, se registró un incremento hasta del 61 % con la dosis de fertilización N

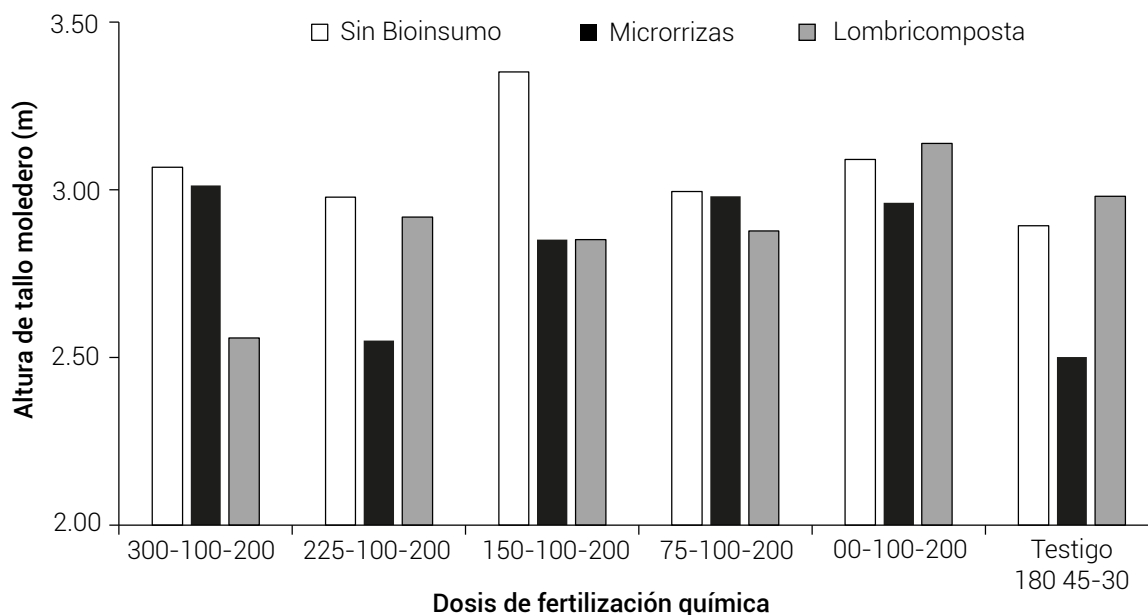
(300), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100), K<sub>2</sub>O (200) adicionado con lombricomposta con respecto al menor rendimiento observado con el tratamiento de fertilización mineral N (225), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100), K<sub>2</sub>O (200) en combinación con micorrizas. Por otro lado, la dosis N (300), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100), K<sub>2</sub>O (200) incrementó en 17 % el rendimiento de campo con respecto al testigo regional conocido como fórmula cañera (180-45-30) de la misma forma que las dosis con 150 y 75 unidades de nitrógeno.

El rendimiento estimado en el resto de los tratamientos no presentó una tendencia homogénea, en algunos casos disminuyó en función de la reducción del nitrógeno aplicado, a pesar de la dosis de micorrizas o lombricomposta proporcionada. En estudios similares, donde se utilizaron

**Cuadro 6. Respuesta de la caña de azúcar variedad CP 72-2086 soca I de doce meses de edad, a la aplicación de bioinsumos HFMA y lombricomposta en Zacatepec, Morelos, México, 2023-2024..**

Tratamiento de bioinsumos	Altura de tallo (m)	Diámetro de tallo (mm)	No. de tallos por metro lineal	Longitud de entrenudos (cm)	Número de entrenudos
Sin bioinsumo	3.06 a	29.48 ab	11.86 a	13.31 a	19.78 a
Micorrizas	2.81 b	28.53 b	10.33 b	12.37 a	19.53 a
Lombricomposta	2.89 ab	30.70 a	12.14 a	12.83 a	19.67 a
DSH 0.05	0.191	1.62	1.51	1.15	1.30
R <sup>2</sup>	0.42	0.24	0.43	0.22	0.23
CV (%)	11.67	9.78	23.46	15.97	11.67

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes Tukey (P ≤ 0.05), DSH: diferencia significativa honesta, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, CV: coeficiente de variación.



**Figura 1. Altura de tallo moledero (m) de caña de azúcar con fertilización mineral y bioinsumos a los 12 meses del rebrote de la planta.**

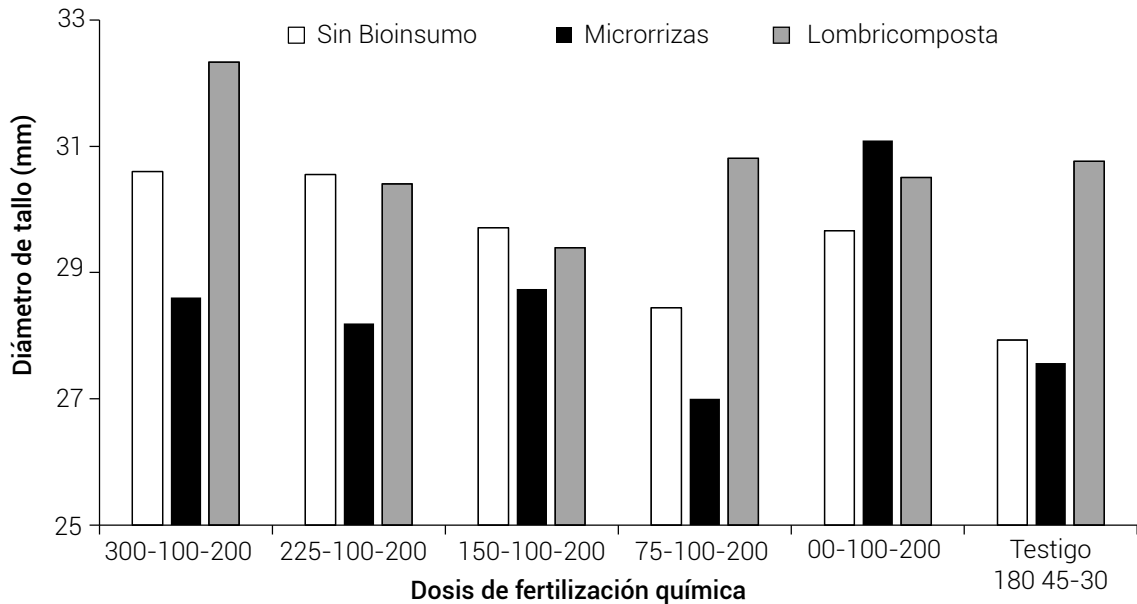


Figura 2. Diámetro de tallo (mm) de caña de azúcar con fertilización mineral y bioinsumos a los 12 meses del rebrote de la planta.

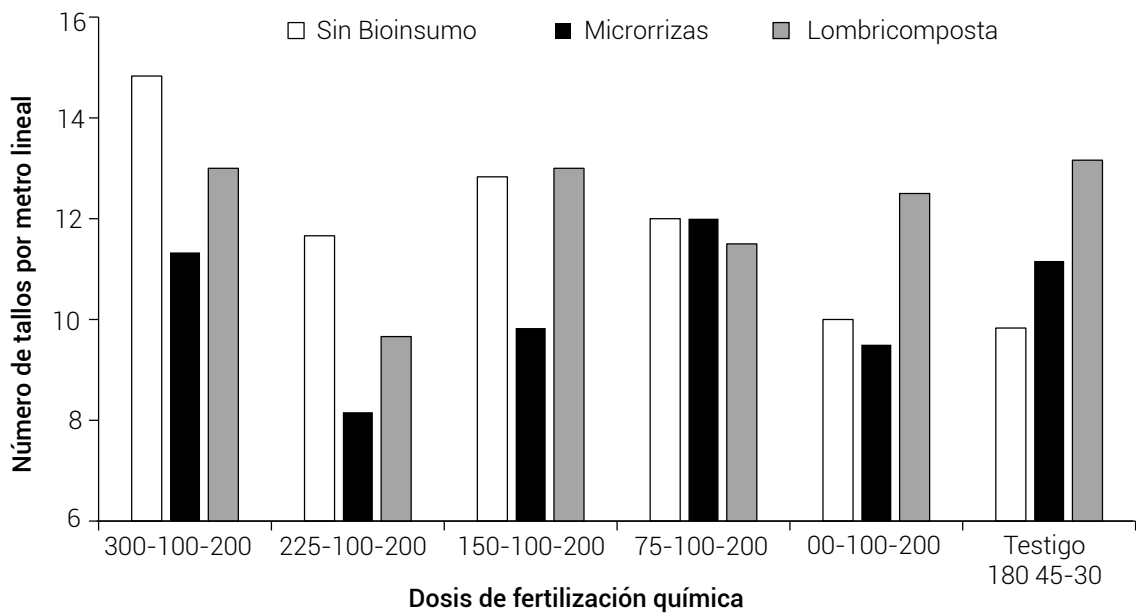
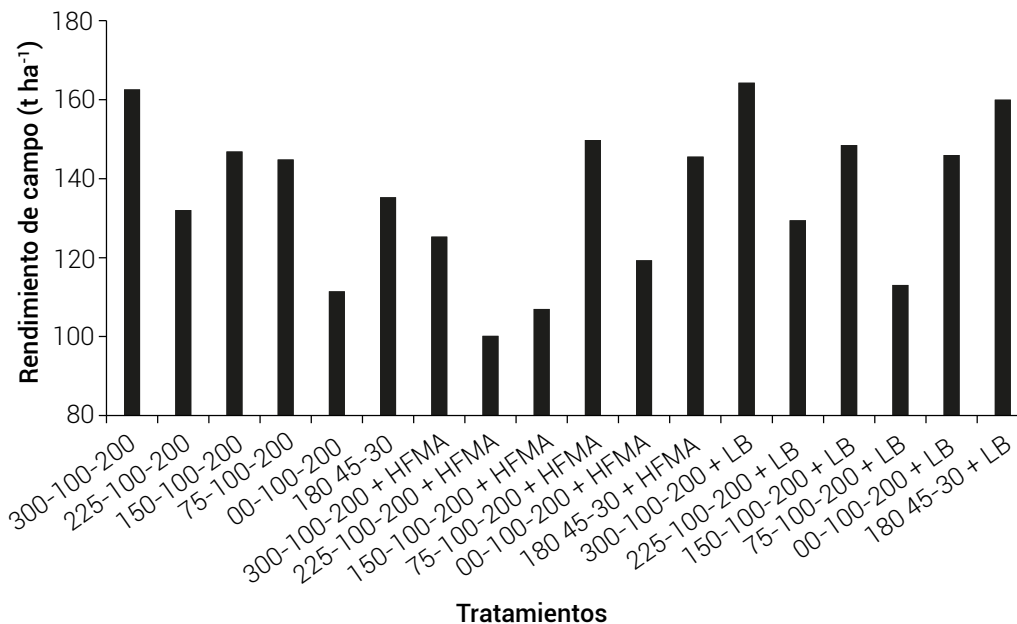


Figura 3. Número de tallos de caña por metro lineal con fertilización mineral y bioinsumos a los 12 meses del rebrote de la planta.



**Figura 4. Rendimiento de campo (t ha<sup>-1</sup>) de caña de azúcar con tratamiento de fertilización mineral más bioinsumos. HFMA: hongos formadores de micorrizas arbusculares, LB: lombricomposta.**

diferentes dosis de fertilizante químico y su mezcla con composta, el rendimiento agrícola fue superior en todos los tratamientos que recibieron composta, siendo la aplicación de 5 t ha<sup>-1</sup> con el 75 % del fertilizante mineral el que mostró diferencia significativa con relación al testigo con una mayor producción de caña (Rodríguez *et al.*, 2017). En trabajos similares, el uso de otros fertilizantes orgánicos y HFMA como *Glomus irregularis* permitió reducir las dosis de fertilización química mineral en 50 % con efectos similares sobre el peso de la planta (Fundora *et al.*, 2021).

Una alta fertilización química reduce la diversidad de las comunidades fúngicas de HFMA en la rizosfera, causando degradación del suelo, mientras que una fertilización química moderada es beneficiosa para la producción sostenible de caña de azúcar (Qin *et al.*, 2025). Los HFMA actúan principalmente en la solubilización de fósforo, mas no como sustituto inmediato de otros elementos de alta demanda como el nitrógeno o potasio, responsables de la producción de biomasa y peso final (Wilches *et al.*, 2022). El fósforo se considera esencial para el amacollamiento, crecimiento de raíces y brotes en caña de azúcar, las micorrizas pueden favorecer estas variables al facilitar la absorción de P (Kingston, 2014). En trabajos posteriores es recomendable evaluar diferentes dosis de fósforo mineral y su combinación con HFMA para determinar la posible disminución del fertilizante sintético, así como el efecto que pueda ocasionar en la microbiología y otras características del suelo y la respuesta del cultivo.

Los beneficios de los bioinsumos han sido reportados en una amplia diversidad de cultivos, no obstante que su comportamiento puede variar dependiendo de las interacciones con el suelo, medio ambiente, disponibilidad de agua, variedad y ciclo del cultivo, por lo que es ideal su uso desde el momento de la siembra con aplicaciones consecutivas y llevar a cabo seguimiento de este tipo de experimentos por al menos dos años consecutivos para contar con información que permita obtener resultados concluyentes. Otras evidencias del efecto positivo de biofertilizantes han sido presentadas por Aguado-Santacruz *et al.* (2024), al aplicar biofertilizante sistémico a base de *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum brasilense* y *Bacillus subtilis* se incrementó hasta 2.5 veces el rendimiento de la caña de azúcar, además de mejorar el contenido de °Brix y sacarosa.

Los biofertilizantes son microorganismos benéficos que al inocularlos desde la siembra y consecutivamente, incrementan sus poblaciones; asimismo, mediante su actividad biológica ponen a disposición de las plantas importantes nutrientes necesarios para el desarrollo del cultivo, así como sustancias promotoras de crecimiento, y contribuyen a la mineralización de la materia orgánica del suelo (Velasco-Velasco, 2014). De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, no se observó un beneficio contundente de la mezcla entre la fertilización química con micorrizas o lombricomposta, probablemente por su aplicación en soca, la aplicación por empapado para el caso de las micorrizas y el proceso de

mineralización por el que debe transitar la lombricomposta, que puede demorar hasta un año en completarse y facilitar la absorción de nutrientes por el cultivo, por lo que el efecto benéfico de su aplicación, podría reflejarse hasta el segundo año de haberse realizado.

### CONCLUSIONES

Las combinaciones de fertilización mineral con lombricomposta y HFMA (*Glomus intraradices*) mostraron diferencias significativas positivas en las variables altura de tallo moledero, número de tallos por metro lineal y número de entrenudos. La dosis de fertilización mineral N (300), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100), K<sub>2</sub>O (200) sola o en combinación con lombricomposta permite el mejor desarrollo de las plantas de caña y el incremento en rendimiento. La combinación de la fertilización mineral con lombricomposta supera a los tratamientos de fertilización mineral sola o en combinación con HFMA bajo las condiciones en que se realizó el experimento. Es necesario evaluar, a mediano y largo plazo, el efecto de la aplicación de la lombricomposta y HFMA en el suelo con cultivos de alta demanda nutricional como la caña de azúcar.

### AGRADECIMIENTOS

Investigación financiada con el proyecto INIFAP "Estrategia de acompañamiento técnico".

### BIBLIOGRAFÍA

- Aguado-Santacruz G. A., J. M. Arreola-Tostado, C. Aguirre-Mancilla and E. García-Moya (2024) Use of systemic biofertilizers in sugarcane results in highly reproducible increments in yield and quality of harvests. *Heliyon* 10:e28750, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28750>
- Campitelli P., M. Velasco and S. Ceppi (2012) Characterization of humic acids derived from rabbit manure treated by composting-vermicomposting process. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12:875-891, <https://doi.org/10.4067/S0718-95162012005000039>
- Del Aguila J. P., J. Lugo F. and R. Vaca P. (2011) Vermicomposting as a process to stabilize organic waste and sewage sludge as an application for soil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14:949-963
- Fundora H. O., K. Rodríguez R., J. M. Portieles R. y B. Eichler-Löbermann (2021) Efecto fertilizante de la ceniza de caña y micorrizas aplicadas a un suelo fersialítico pardo rojizo. *Agricultura Tropical* 7:12-18.
- Hernández-Arenas M., R. Díaz-Juárez, J. F. Cervantes-Preciado, M. Mendoza-Mexicano y A. Pérez-Rosales (2024) Producción de caña de azúcar en el estado de Morelos. Folleto para Productores No. 44. Campo Experimental Zacatepec, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Zacatepec, Morelos, México.
- Kingston G. (2014) Mineral nutrition of sugarcane. In: *Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology*. P. H. Moore and F. C. Botha (eds.). John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA. pp:85-120, <https://doi.org/10.1002/9781118771280.ch5>
- Moreno-Hernández M. R., J. L. Spinoso-Castillo, L. Sánchez-Segura, R. Sánchez-Páez and J. J. Bello-Bello (2022) Arbuscular mycorrhizal fungi: inoculum dose affects plant development and performance of sugarcane (*Saccharum* spp.) plantlets during acclimatization stage. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 22:4847-4856, <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00964-z>
- Qin X. J., S. Wang, Y. J. Nong, Y. H. Kang, J. L. Zhang, S. Y. Zeng, ... and Y. R. Li (2025) Different chemical fertilization levels affect arbuscular mycorrhizal fungal communities in rhizosphere soils of ratoon sugarcane. *Sugar Tech* 27:1715-1729, <https://doi.org/10.1007/s12355-025-01608-z>
- Ramírez G. M. M., A. M. Peñaranda R., D. P. Serralde O. y U. A. Pérez M. (2020) Producción y Aplicación de Hongos Formadores de Micorrizas en Vivero de Caña para Panela. Manual Práctico de Uso. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Mosquera, Colombia. 46 p, <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403732>
- Reyes C. A., R. García S., R. Zetina L., M. Espinosa R., M. Reveles H., G. A. Aguado S., ... y J. Patishtan P. (2023) Producción y Uso de Bioinsumos para la Nutrición Vegetal y Conservación de la Fertilidad del Suelo. Libro técnico No. 3. Campo Experimental Tecomán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tecomán, Colima, México. 494 p.
- Rodríguez I., H. Pérez I. y W. Jara O. (2017) Efecto del compost en el rendimiento agrícola de caña de azúcar en el Ingenio Valdez. *Revista Cumbres* 3:119-126.
- Rouphael Y., P. Franken, C. Schneider, D. Schwarz, M. Giovannetti, M. Agnolucci, ... and G. Colla (2015) Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 196:91-108, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.002>
- SAS Institute (2016) Base SAS® 9.4 Procedures Guide: High-Performance Procedures. Sixth edition. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA. 170 p.
- SE, Secretaría de Economía (2007) NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de lombriz (lombricomposta) - especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. México, D. F. <http://www.economia-nmx.gov.mx/normas/nmx/2007/nmx-ff-109-scfi-2008.pdf> (Abril 2025).
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2024) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/) (Marzo, 2025).
- Thirkell T. J., M. D. Charters, A. J. Elliott, S. M. Sait and K. J. Field (2017) Are mycorrhizal fungi our sustainable saviours? Considerations for achieving food security. *Journal of Ecology* 105:921-929, <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12788>
- Velasco-Velasco J. (2014) Los biofertilizantes y la caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agro Productividad* 7:60-64.
- Wilches O. W. A., M. M. Ramírez G., U. A. Pérez M., D. P. Serralde O., A. M. Peñaranda R. 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, <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>
- Wilches O. W. A., M. M. Ramírez G., L. M. Reyes M., U. A. Pérez M., D. P. Serralde O. y A. M. Peñaranda R. (2022) Uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares en dos variedades de caña para panela en Suaita-Santander, Colombia. *Siembra* 9:e3802, <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3802>

