

# Manejo de la nutrición, variedades y enfermedades fúngicas de caña de azúcar en el estado de Morelos, México

## Management of nutrition, fungal diseases and varieties of sugar cane in Morelos state, Mexico

Daniel Ménez-Astudillo<sup>1</sup>, Ernesto Juniors Pérez-Torres<sup>2</sup>, Alfredo Jiménez-Pérez<sup>3</sup>, Mario Rodríguez-Monroy<sup>4</sup>, Gabriela Sepúlveda-Jiménez<sup>5</sup>

Fecha de recepción: 14 de mayo, 2024

Fecha de aprobación: 27 de agosto, 2024

Ménez-Astudillo, D; Pérez-Torres, E.J; Jiménez-Pérez, A; Rodríguez-Monroy, M; Sepúlveda-Jiménez, G. Manejo de la nutrición, variedades y enfermedades fúngicas de caña de azúcar en el estado de Morelos, México. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° 1. Enero-Marzo, 2025. Pág. 15-24.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i2.7076>

- 1 Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos. México.  
 [dmeneza1800@alumno.ipn.mx](mailto:dmeneza1800@alumno.ipn.mx)  
 <https://orcid.org/0009-0002-9933-9452>
- 2 Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos. México.  
 [eperezt@ipn.mx](mailto:eperezt@ipn.mx)  
 <https://orcid.org/0000-0002-5826-1364>
- 3 Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos. México.  
 [aljimenez@ipn.mx](mailto:aljimenez@ipn.mx)  
 <https://orcid.org/0000-0002-6170-746X>
- 4 Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos. México.  
 [mrrmonroy@ipn.mx](mailto:mrrmonroy@ipn.mx)  
 <https://orcid.org/0000-0001-6201-7594>
- 5 Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, Morelos. México.  
 [gsepulvedaj@ipn.mx](mailto:gsepulvedaj@ipn.mx)  
 <https://orcid.org/0000-0003-0033-9306>

## Palabras clave

Caña de azúcar; fertilizantes químicos; fertilizantes biológicos; enfermedades por hongos.

## Resumen

En México, el estado de Morelos ocupa el primer lugar en el rendimiento agrícola de la caña de azúcar, pero es escasa la información del estado actual del manejo del cultivo y fue objeto de estudio. Para lo cual, se diseñó una encuesta y se aplicó a una muestra de 195 productores de caña de azúcar que pertenecen a los nueve municipios principales en los que se cultiva un 74.0 % de la caña de azúcar en el estado de Morelos. Los datos de la encuesta indicaron que el precio de los insumos y en particular, el costo de los fertilizantes es el principal problema al que se enfrentan los productores. El problema se agudiza porque no se realiza un análisis del suelo previo a la fertilización y sin considerar la disponibilidad de nutrientes y la demanda del cultivo. Un 72,5 % de los productores usan los fertilizantes formulados, con poca frecuencia usan abonos orgánicos, microorganismos benéficos, residuos de cosecha y abonos verdes. Las variedades CP 72-086, ITV 92-1424 y MY 55-14 se cultivan con mayor frecuencia, y los productores identifican la presencia de enfermedades fúngicas en las variedades CP 72-086, ITV 92-1424. En conclusión, para reducir la fertilización química en el cultivo de la caña de azúcar es necesario considerar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, aplicar prácticas agrícolas con un sistema de rotación de cultivos, para el control de las enfermedades y el uso de las variedades que se cultivan en el estado de Morelos, México.

## Keywords

Sugarcane; chemical fertilizer; biological fertilizer; fungal diseases.

## Abstract

The Morelos state, Mexico, is renowned for its sugar industry. However, the information on the current state of sugarcane crop management is scarce and was the subject of this study. For this, a survey was designed and applied to a sample of 195 sugarcane producers who represent to the nine municipalities in which 74.0 % of sugarcane is grown in the in the Morelos state, Mexico. The survey data indicated that the main trouble for producers is the high cost of fertilizers, exacerbated mainly by the lack of soil analysis before fertilization, without examining nutrient availability and crop demand. The 72.5 % of producers use formulated fertilizers based on the variety and municipality, with infrequent use of organic fertilizers, beneficial microorganisms, crop residues, and green manures. The most commonly cultivated sugarcane varieties are CP 72-086, ITV 92-1424, and MY 55-14; and the producers identified in the CP 72-086, ITV 92-1424 varieties the presence of fungal diseases. In conclusion, to reduce chemical fertilization in the sugarcane crop, it is necessary to consider the physical, chemical and biological properties of the soil, and apply agricultural practices with a crop rotation system, for the control of diseases and the use of varieties grown in the Morelos state, Mexico.

## Introducción

El estado de Morelos en México posee suelos fértiles, con un clima cálido subhúmedo, lluvias en verano, una temperatura media anual de 21,5 °C y no se presentan heladas. El promedio de las precipitaciones anuales es de 900 mm [1] con disponibilidad de agua subterránea. La calidad físico-química del agua en las fuentes de abasto superficiales o subterráneas utilizadas para el riego, influye en la calidad del suelo y el rendimiento del cultivo de caña de azúcar [2].

La caña de azúcar se cultiva en 20 de los 36 municipios del estado de Morelos y los municipios de Amacuzac, Ayala, Cuautla, Jojutla, Mazatepec, Puente de Ixtla, Tlaltizapán, Tlaquiltenango y Yautepec, representan el 74 % de la producción [3]. El rendimiento del cultivo depende del clima [4], sistema de riego [5], tipo de suelo y fertilización [6], con la aplicación de un sistema integrado de nutrición vegetal basado en el uso de fertilizantes químicos, abonos orgánicos, residuos de cosecha, biofertilizantes y abonos verdes [7]; además el rendimiento depende de las variedades y las enfermedades [8]. Las enfermedades fúngicas reducen el rendimiento y la producción del cultivo entre un 20 y 40 % [9]. Las enfermedades se asocian al sistema de fertilización que establece el productor y los cultivos con que se rota la caña de azúcar (10). Asimismo, la fertilización química y el uso de algunas variedades persisten por períodos prolongados. Por lo cual, para proponer alternativas en el manejo integrado del cultivo de la caña de azúcar se realizó un diagnóstico del manejo de la fertilización, del uso de las variedades y del manejo de las enfermedades de la caña de azúcar en el estado de Morelos, México.

## Metodología

El cuestionario de la encuesta se diseñó en la plataforma Google Forms, consistió en 24 preguntas de opción múltiple y contempló los siguientes aspectos: a) datos generales y experiencia del productor, b) problemática del cultivo, c) prácticas del manejo del suelo y la fertilización, d) variedades que se usan y e) tácticas para el manejo de enfermedades fúngicas. De un total de 36 municipios que constituyen el estado de Morelos, México se seleccionaron los nueve municipios que representan el 74,0 % de la producción de caña de azúcar [3]. Los municipios fueron Ayala, Tlaquiltenango, Amacuzac, Yautepec, Cuautla, Jojutla, Tlaltizapán de Zapata, Mazatepec y Puente de Ixtla. La encuesta se aplicó de septiembre a noviembre de 2022 a 195 productores que estuvieron activos para las zafras 2021-2022 y 2022-2023. Los 195 productores representan una muestra de un total de 5982 productores registrados en el Padrón de Beneficiarios de Producción para el Bienestar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Este tamaño de muestra tiene un margen de error del 7 % a un nivel de confianza del 95 %.

Los datos cualitativos se codificaron en categorías, con valores del 1 al 5 y los datos se concentraron en una base de datos de Excel. Para el análisis de frecuencia y los gráficos de contingencia de asociación entre la fertilización química y rotación de cultivos con las variedades de mayor rendimiento, se utilizó el software IBM SPSS Estadística para Windows, versión 24.

## Resultados

### Características generales de los productores encuestados

El 81,4 % de los productores fueron de los municipios de Ayala, Tlaquiltenango, Amacuzac, Yautepec y Cuautla; y el 16,5 % de los productores fueron de los municipios de Jojutla, Tlaltizapán de Zapata, Mazatepec y Puente de Ixtla. El 25,6 y 74,4 % de los productores son del sexo femenino y masculino, respectivamente. El 36,1 % de los productores tienen un nivel educativo superior, el 28,4 % cuenta con un nivel educativo medio superior, 27,3 % con una educación básica, el 5,7 % realizó un posgrado y el 2,6 % no tiene estudios. El 25,2 % de los productores tienen más de 60 años, 54,6 % tiene de 41 a 60 años, el 18,6 % tiene de 20 a 40 años y un 1,5 % tiene menos de 20 años. En relación con la experiencia de los productores en el cultivo, el 43,3 % de los productores tiene 10 o menos años de experiencia, el 28,4 % de 11 a 20 años y 14,4 % de 21 a 30 años de experiencia.

### Problemática de los productores

La problemática principal que indicaron los productores fue el precio de los insumos (56,4 % mucho), seguida de los problemas fitosanitarios (51,3 % regular), contar con un sistema de riego (41,0 % regular), la posibilidad de obtener un financiamiento para la compra de los insumos (33,3 % regular) y contar con la asesoría técnica que se requiere para el manejo del cultivo (31,3 % regular). Dentro de los insumos, la compra de fertilizantes representó el mayor gasto para los productores (74,9 % mucho), y en menor proporción, los herbicidas, insecticidas, el riego y los fungicidas (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Problemática y jerarquía de gastos de los productores de caña de azúcar en el estado de Morelos, México (n=195).

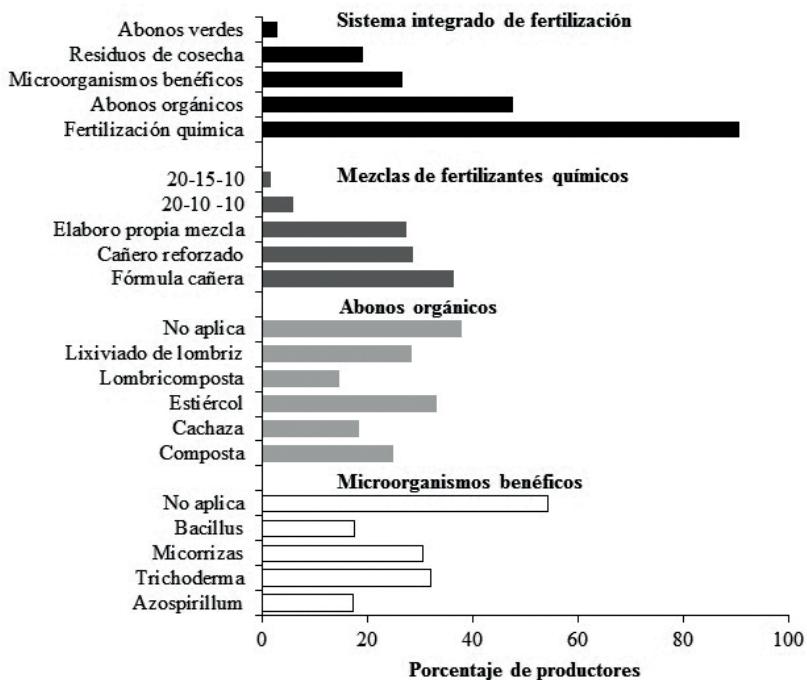
Categorías	Problemática de productores (%)			
	Mucho	Regular	Poco	Nada
Precio de insumos	56.4	27.7	11.8	4.1
Problemas fitosanitarios	19.0	51.3	27.2	2.5
Riego del cultivo	16.4	41.0	25.2	17.4
Financiamiento para insumos	27.2	33.3	27.2	12.3
Asesoría para el manejo	20.0	31.3	24.1	24.6
Jerarquía de gastos de los productores (%)				
Fertilizantes	74.9	21.5	2.6	1.0
Fungicidas	30.3	34.9	24.6	10.2
Insecticidas	39.0	43.1	16.4	1.5
Herbicidas	43.1	45.1	9.2	2.6
Riego	19.0	41.5	36.4	3.1

### Fertilización del cultivo

El tipo de suelo es un factor que determina su fertilidad y el análisis de sus características es de interés para diseñar una fertilización adecuada. El suelo *Vertisol* predomina en los nueve municipios del estado de Morelos donde se aplicó la encuesta a los productores. Sin embargo, los datos de la encuesta indicaron que el 75,8 % de los productores no realizan un análisis de suelo antes de aplicar fertilizantes; mientras que el 24,2 % de los productores que realizan un análisis de suelo, no utiliza los resultados para fertilizar. Para establecer la fertilización, el 54,4 % de los productores no considera la disponibilidad de nutrientes en el suelo, ni la demanda del cultivo, el 25,4 % de los productores toma en cuenta la demanda de nutrientes de la caña de azúcar y su disponibilidad en el suelo, y el 20,2 % de los productores refiere que a veces los considera para realizar la fertilización.

El 90,7 % de los productores indicó que la fertilización química es la principal vía para garantizar los nutrientes que demanda el cultivo. Mientras que el 47,7 % de los productores aplica abonos orgánicos, el 26,6 % emplea microorganismos benéficos, el 19,2 % utiliza residuos de la cosecha y el 2,8 % usa los abonos verdes para mejorar la fertilidad del suelo (Figura 1). Entre los fertilizantes químicos que usan los productores, la aplicación de la fórmula cañera (18 N – 4,5 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 3 K<sub>2</sub>O) predomina con el 36,5 % de los productores y el 28,6 % de ellos la refuerza con fósforo y potasio. Las mezclas que elaboran los propios productores se aplican con una frecuencia de 27,5 %; mientras que las fórmulas de N-P-K, 20-10-10 y 20-15-10 son las que menos se usan (Figura 1).

A nivel estatal, los abonos orgánicos que se usan son el estiércol (33,2 %), el lixiviado de lombriz (28,3 %), la compost (24,9 %), la cachaza (18,3 %) y la lombricomposta (14,6 %) (Figura 1). Sin embargo, un 38% de los productores no aplica abonos orgánicos. El 54,4 % de los productores indicó que no utilizan microorganismos benéficos en el cultivo, pero los productores que los aplican muestran una tendencia de usar hongos del género *Trichoderma* y micorrizas, y las bacterias de los géneros *Bacillus* y *Azospirillum* (Figura 1).



**Figura 1.** Sistemas de fertilización de la caña de azúcar en el estado de Morelos, México.

#### Principales variedades de caña de azúcar que se cultivan

En el estado de Morelos, el 90,5 % de los productores cultivan las variedades CP- 72-2086, ITV 92-1424 y MY 55-14; mientras que un 9,5 % de los productores cultivan las variedades ATEMEX 9640, MEX 80-1410 y LT MEX 96-9. En los municipios de Ayala y Tlaquiltenango, la variedad CP- 72-2086 es la que más se cultiva con 63,1 % y 54,1 % respectivamente, seguida por las variedades ITV 92-1424 y MY 55-14. Mientras que, en los mismos municipios, los productores no cultivan las variedades LT MEX 96-9 y ATEMEX 9640. En contraste, en el municipio de Amacuzac, un 60,9 % de los productores cultivan la variedad ITV 92-1424. En el municipio de Yautepec, un 28,6 % de los productores señalan que de manera equitativa cultivan las variedades ATEMEX 9640, CP- 72-2086 y MY 55-14 (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Variedades de caña de azúcar que se cultivan en el estado de Morelos y en sus principales municipios.

Variedades	Porcentaje de productores (%)				
	Estado de Morelos	Municipios			
		Ayala	Tlaquiltenango	Amacuzac	Yautepec
CP- 72-2086	46,1	63,1	54,1	30,4	28,6
ITV 92-1424	23,8	15,8	16,7	60,9	14,2
MEX 80-1410	2,6	1,8	2,1	0,0	0,0
ATEMEX 9640	4,3	3,5	0,0	0,0	28,6
MY 55-14	20,6	15,8	22,9	8,7	28,6
LT MEX 96-9	2,6	0,0	4,2	0,0	0,0
No. de encuestados 189	57	48	23	14	

#### Variedades de caña de azúcar afectadas por enfermedades fúngicas y su manejo

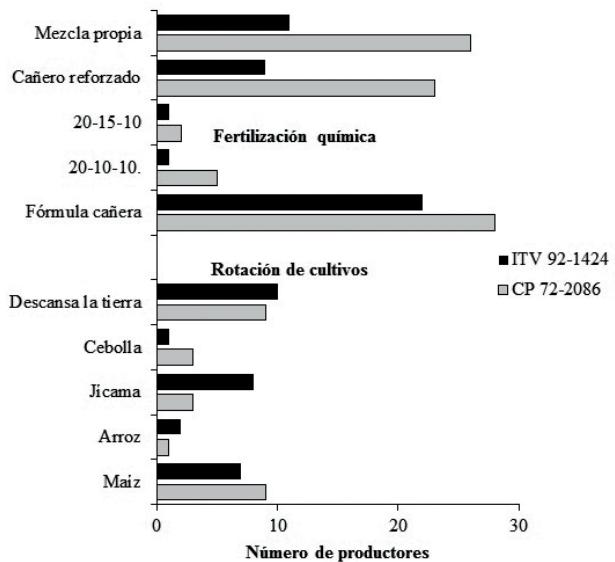
Los productores identifican a la variedad ITV 92-1424 como la más afectada por enfermedades en el estado de Morelos (55,1 %), seguida de las variedades CP 72-2086 (28,7 %), ATEMEX 9640 (7,2 %), LT MEX 96-9 (4,2 %), MEX 80-1410 (3,0 %) y MY 55-14 (1,8 %). En el control de enfermedades fúngicas, el 61,4 % de los productores utiliza fungicidas tales como Sulfato de cobre (13,7 %), Caldo sulfocálcico (13,3 %), Tiofanato de metilo (12,4 %), Carbendazim (6,6 %) y un 15,4 % de los productores utiliza productos diferentes a los mencionados. Es notorio que el 38,6 % de los productores no controla enfermedades.

#### Manejo del ciclo, fertilización química y rotación de cultivos en las variedades de caña de azúcar CP 72-2086 e ITV 92-1424.

El 30 y 27,5 % de los productores prefieren voltear la caña de azúcar cada cuatro y cinco años, respectivamente. Pero un 33,7 % de los productores voltean la caña de azúcar a los seis o más años, y solo el 8,8 % de los productores lo realiza a los tres años.

En el estado de Morelos, los productores prefieren realizar la fertilización de las variedades CP 72-2086 e ITV 92-1424 con la fórmula cañera, seguida de una mezcla de fertilizantes que elaboran ellos mismos y con la fórmula cañero reforzado. En las dos variedades, los productores usan con menor frecuencia o no las fórmulas 20-10-10 y 20-15-10 (Figura 2).

Los resultados de la encuesta indicaron que, en el estado de Morelos, los productores prefieren descansar el suelo con plantas nativas (43,0 %), seguido de maíz (31,0 %) y jícama (16,0%) y en menor frecuencia con cebolla (6,0 %) y arroz (4,0 %) respectivamente. En las áreas cultivadas con la variedad CP 72-2086 se rota con maíz y se deja descansar el suelo; mientras que en la variedad ITV 92-1424 prevalece la práctica de dejar descansar el suelo seguida de rotar con jícama y maíz. Los cultivos de cebolla y arroz son los menos utilizados por los productores para esta práctica agrícola (Figura 2).



**Figura 2.** Manejo de las variedades CP 72-2086 e ITV 92-1424 en el cultivo de caña de azúcar en el estado de Morelos, México.

## Discusión

En el estado de Morelos, el 98,4 % de los productores realiza fertilización química para el manejo de la nutrición de la caña de azúcar sin tener en cuenta el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Esta actividad prevalece sobre el uso de abonos orgánicos, residuos de cosecha, biofertilizantes y abonos verdes. Lo cual es una desventaja para los productores de la caña de azúcar, ya que los datos de la encuesta también muestran que el precio de los fertilizantes es la principal problemática que enfrentan los productores. Al respecto, el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo son la base para el manejo eficiente de la nutrición de la caña de azúcar [11]. El análisis de suelo permite establecer la dosis, el tiempo y la forma de aplicación del fertilizante. Asimismo, se toma en cuenta las concentraciones de los macro y micronutrientes en el suelo, la demanda del cultivo de acuerdo con la etapa fisiológica y el aprovechamiento del fertilizante que se va a utilizar. El establecer la fertilización a partir de un análisis de suelo reduce la aplicación excesiva de fertilizantes químicos, que causan procesos de degradación química del suelo y el antagonismo entre cationes intercambiables [12] [13].

Dentro de los fertilizantes químicos aplicados por los productores, la fórmula cañera es la que utilizan con mayor frecuencia (36,5 %) con respecto a otras mezclas. En forma similar, esta fórmula es la más aplicada por los productores de caña de azúcar en el municipio Tlaquiltenango, en el estado de Morelos [14]. No obstante, presenta un contenido fijo de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), lo que puede conllevar a excesos o déficit de nutrientes en el suelo. Por lo cual, se sugiere realizar análisis de suelo, seleccionar los fertilizantes y tener en cuenta la demanda del cultivo para elaborar el esquema de fertilización.

El uso de abonos orgánicos es aún limitado (47,7 %), lo que sería una alternativa para reducir la aplicación de fertilizantes químicos. Al respecto, los abonos orgánicos permiten una liberación lenta de nutrientes, aumentan la carga microbiana, mejoran la estructura del suelo, incrementan el carbono orgánico del suelo y el rendimiento de la caña de azúcar [15]. Los abonos orgánicos como la vermi-compost, el estiércol de corral y lodo de biogás, aumentaron el C y el N de la biomasa microbiana, el contenido de N y P en el suelo y el rendimiento de la caña de azúcar [16]. En suelos con déficit de P, la aplicación de melaza combinada con la fertilización química mejoró el contenido de materia orgánica, de N y P asimilable, la comunidad bacteriana del suelo y promovió el crecimiento de caña de azúcar [17].

Solamente el 26,6 % de los productores del estado de Morelos usa microorganismos benéficos como biofertilizantes; lo cual podría ser también una alternativa para reducir el uso de fertilizantes químicos. Al respecto, la aplicación de consorcios de *Pseudomonas fluorescens*, *Gluconacetobacter diazotrophicus* y *Trichoderma harzianum* disminuyó hasta en un 50 % la fertilización química de la caña de azúcar [18]. La aplicación de *T. viride*, *Beauveria bassiana* y las bacterias *P. fluorescens* y de los géneros *Azotobacter* y *Gluconacetobacter* combinados con NPK incrementó el rendimiento de la caña de azúcar [19].

Los datos de la encuesta también muestran que en el estado de Morelos es casi nulo el uso de abonos verdes para mejorar la fertilidad de los suelos donde se cultiva la caña de azúcar. Lo cual es un área de oportunidad de investigación y para los productores de caña de azúcar. Debido a que la aplicación de los abonos verdes como *Crotalaria juncea* L. y *Sesbania cannabina* (Retz.) Pers, favorecen la actividad enzimática en el suelo, el número de tallos y el rendimiento de caña de azúcar [20]. Asimismo, el uso de *Crotalaria* spp. incrementa el rendimiento de caña de azúcar en el primer y tercer ciclo de cultivo en comparación con áreas donde se descansó el suelo [21], y su uso reduce la compactación del suelo y por lo cual, se aumenta la velocidad de infiltración en el mismo [22].

Un 46,1 % de los productores del estado de Morelos indicaron que prefieren cultivar la variedad CP 72-2086 que otras variedades de caña de azúcar. La preferencia de cultivar la variedad podría deberse a su alto rendimiento agrícola, su resistencia a plagas y enfermedades, y su adaptación a diferentes tipos de suelos [14]. La variedad CP 72-2086 es considerada de alto rendimiento en la industria azucarera [23], lo cual es significativo, ya que el contenido de sacarosa es un criterio para seleccionar las variedades de caña de azúcar [24].

Por otra parte, las enfermedades causadas por hongos del género *Fusarium* y que se reconocen en la caña de azúcar son la marchitez y el Pokkah Boeng. Al respecto, un 55,1 % de los productores indicaron que la variedad ITV 92-1424 es la que presenta más daño por enfermedades fúngicas que las otras variedades. Asimismo, un 61,4 % de los productores indicó que para el control de las enfermedades en caña de azúcar utiliza los fungicidas a base de sulfato de cobre, caldo sulfocálcico, tiofanato de metilo y carbendazim. Sin embargo, se ha encontrado resistencia a carbendazim por el complejo de *Fusarium* que causa la enfermedad Pokkah Boeng [25] y un factor de predisposición a las enfermedades es la fertilización química desbalanceada, sin un análisis fisicoquímico del suelo [26]. Por lo cual para reducir la aplicación de fungicidas para controlar enfermedades, se recomienda realizar una fertilización química balanceada en base a un análisis del suelo, así como el uso de variedades resistentes de caña de azúcar.

El tiempo en que se voltean la caña de azúcar y los cultivos en rotación que se usan son factores que influyen en el manejo del suelo, la nutrición y el control de las enfermedades en la caña de azúcar. Al respecto el 91,2 % de los productores en el estado de Morelos voltean la caña de azúcar a partir del cuarto año de cultivo y un 43,0 % de los productores prefiere descansar el suelo que realizar la rotación con cultivos como el maíz, la jícama, la cebolla y el arroz. Sin embargo, se reporta que el mayor rendimiento de las variedades CP 72-2086, ITV 92-1424, MEX 79-431 y MY55-14 se alcanza en el primer año de cultivo y disminuye en los cortes sucesivos [14]. Asimismo, la ausencia de rotación de la caña de azúcar con otros cultivos aumenta la acidez, disminuye la fertilidad, la composición microbiana y la actividad biológica del suelo y afecta el rendimiento [27] [28]. En contraste, la rotación de caña de azúcar con pasto *Brachiaria decumbens* incrementó las reservas de N, C total y orgánico, así como minerales asociados a la materia orgánica [29]. La práctica de descansar el suelo con plantas nativas como las leguminosas podría ser una alternativa para los productores de caña de azúcar del estado de Morelos, ya que las leguminosas aportan nutrientes al suelo e incrementan el desarrollo de la macro y microfauna en el ecosistema agrícola donde se cultiva la caña de azúcar [30].

## Conclusiones

El diagnóstico de la situación actual del manejo del cultivo de la caña de azúcar en el estado de Morelos, México permitió identificar que la principal problemática de los productores es la fertilización química y el uso limitado de abonos orgánicos, de biofertilizantes y de abonos verdes. Por lo cual se sugiere implementar estrategias para el manejo de la fertilización que consideren las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, aplicar prácticas agrícolas con un sistema de rotación de cultivos, para el control de las enfermedades y el uso de las variedades que se cultivan en los principales municipios productores de caña de azúcar.

## Agradecimientos

EJPT recibió beca para estancia posdoctoral de Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT). DMA recibió beca para realizar estudios de doctorado de CONAHCyT y del programa de Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI-IPN). AJP, MRM y GSJ son becarios de Estímulo al Desempeño de los Investigadores (EDI) y de la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas (COFAA) del IPN.

## Referencias

- [1] INEGI, "Clima. Morelos Org.mx.", <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/territorio/clima.aspx?tema=me&e=17>.
- [2] M. Manzoor *et al.*, "Optimizing Sugarcane Growth, Yield, and Quality in Different Ecological Zones and Irrigation Sources Amidst Environmental Stressors", *Plants*, vol. 12, núm. 20, 2023, doi: 10.3390/plants12203526.
- [3] SIAP, "Anuario Estadístico de la Superficie y la Producción Agrícola. Estado de Morelos y Municipios. Caña de azúcar." Consultado: el 21 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- [4] R. R. Verma, T. K. Srivastava, y P. Singh, "Climate change impacts on rainfall and temperature in sugarcane growing Upper Gangetic Plains of India", *Theor Appl Climatol*, vol. 135, núm. 1, pp. 279–292, 2019, doi: 10.1007/s00704-018-2378-8.
- [5] N. P. Cardozo, R. de Oliveira Bordonal, y N. La Scala, "Sustainable intensification of sugarcane production under irrigation systems, considering climate interactions and agricultural efficiency", *J Clean Prod*, vol. 204, pp. 861–871, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.004>.
- [6] T. M. S. Sattolo, E. Mariano, B. N. Boschiero, y R. Otto, "Soil carbon and nitrogen dynamics as affected by land use change and successive nitrogen fertilization of sugarcane", *Agric Ecosyst Environ*, vol. 247, pp. 63–74, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.005>.
- [7] S. Udayakumar, K. Baskar, B. Bhakiyathu Saliha, y C. Jemila, "Chemical Science Review and Letters Impact of Integrated Nutrient Management on Soil Fertility and Nutrient Uptake of Ratoon Sugarcane", *Chem Sci Rev Lett*, vol. 6, núm. 21, 2017.
- [8] P. D. Riajaya *et al.*, "Growth and Yield Potential of New Sugarcane Varieties during Plant and First Ratoon Crops", *Sustainability*, vol. 14, núm. 21, 2022, doi: 10.3390/su142114396.
- [9] W.-F. Li *et al.*, "Occurrence and damage of epidemic fungal diseases in middle and late stages of sugarcane growth in Yunnan Province of China", *Eur J Plant Pathol*, vol. 164, núm. 3, pp. 353–364, 2022, doi: 10.1007/s10658-022-02566-y.
- [10] D. Chen *et al.*, "Dynamic changes in soil fungal communities and functional groups in response to sugarcane/soybean intercropping with reduced nitrogen fertilizer application", *Biol Fertil Soils*, vol. 59, núm. 4, pp. 363–378, 2023, doi: 10.1007/s00374-023-01709-5.
- [11] Cairo-Cairo P, Diaz-Martin B, y Rodriguez-Urrutia A, "Soil quality indicators in Vertisols under sugarcane", *Arch Agron Soil Sci*, vol. 63, núm. 11, pp. 1477–1488, 2017, doi: 10.1080/03650340.2017.1289372.
- [12] A. F. Martíni, G. P. Valani, R. S. Boschi, R. C. Bovi, L. F. Simões da Silva, y M. Cooper, "Is soil quality a concern in sugarcane cultivation? A bibliometric review", *Soil Tillage Res*, vol. 204, p. 104751, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104751>.
- [13] J. Prasara-A, S. H. Gheewala, T. Silalertruksa, P. Pongpat, y W. Sawaengsak, "Environmental and social life cycle assessment to enhance sustainability of sugarcane-based products in Thailand", *Clean Technol Environ Policy*, vol. 21, núm. 7, pp. 1447–1458, 2019, doi: 10.1007/s10098-019-01715-y.

- [14] E. E. Hernández-Andrade, C. A. Ortiz Solorio, Ma. del C. Gutiérrez Castorena, E. V. Gutiérrez Castorena, y P. Sánchez Guzmán, "Manejo local de los suelos cañeros en Tlaquiltengo, Morelos, México.", *Revista de Geografía Agrícola*, núm. 61, pp. 85–102, dic. 2018, doi: 10.5154/r.rga.2018.61.14.
- [15] S. K. Sinha, Jha C K, Kumar V, y Pandey S S, "Yield and soil organic carbon pool in relation to soil fertility of sugarcane (*Saccharum* species hybrid complex) plant-ratoon system under integrated nutrient management", *Indian Journal of Agronomy*, vol. 6, núm. 1, pp. 25–30, 2017.
- [16] T. K. Srivastava et al., "Effect of bio-manures on soil quality, cane productivity and soil carbon sequestration under long-term sugarcane (*Saccharum officinarum*) plant - Ratoon system in Indian sub-tropics", *Indian Journal of Agricultural Sciences*, vol. 88, núm. 11, pp. 1696–1703, nov. 2018, doi: 10.56093/ijas.v88i11.84902.
- [17] Q. Wu et al., "Combined Chemical Fertilizers with Molasses Increase Soil Stable Organic Phosphorus Mineralization in Sugarcane Seedling Stage", *Sugar Tech*, vol. 25, núm. 3, pp. 552–561, 2023, doi: 10.1007/s12355-022-01196-2.
- [18] S. K. Shukla et al., "Soil quality parameters vis-a-vis growth and yield attributes of sugarcane as influenced by integration of microbial consortium with NPK fertilizers", *Sci Rep*, vol. 10, núm. 1, p. 19180, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-75829-5.
- [19] S. K. Shukla, V. P. Jaiswal, L. Sharma, A. P. Dwivedi, y M. Nagargade, "Integration of Bio-products and NPK Fertilizers for Increasing Productivity and Sustainability of Sugarcane-Based System in Subtropical India", *Sugar Tech*, vol. 25, núm. 2, pp. 320–330, 2023, doi: 10.1007/s12355-022-01182-8.
- [20] Mambu S et al., "Effect of green manure application on soil enzyme activity and nutrient dynamics in a sugarcane field of Kitadaito, Okinawa, Japan.", *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, vol. 52, núm. 4, pp. 315–324, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://www.jircas.go.jp>
- [21] W. Zegada-Lizárrazu et al., "The effects of integrated food and bioenergy cropping systems on crop yields, soil health, and biomass quality: The EU and Brazilian experience", *GCB Bioenergy*, vol. 14, núm. 5, pp. 522–538, 2022, doi: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12924>.
- [22] M. Ferneda, F. E. Furlan, T. Qualharelo, F. F. Putti, G. H. G. Costa, y R. A. M. Uribe, "Influência da adubação verde na infiltração de água e na resistência a penetração do solo sob cultivo rotacionado com cana-de-açúcar e sorgo sacarino", *Irriga*, vol. 27, núm. 4, pp. 843–855, 2022, doi: 10.15809/irriga.2022v27n4p843-855.
- [23] M. Munir, M. K. Baloch, S. Afghan, A. K. Baloch, y M. M. Hashim, "Productivity-based evaluation of elite sugarcane cultivars for sustainable sugar production", *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, vol. 9, núm. 3, pp. 323–334, 2017, doi: 10.3920/QAS2015.0824.
- [24] J. Reyes-Hernández, R. Torres-De Los Santos, H. Hernández-Torres, V. Hernández-Robledo, E. Alvarado-Ramírez, y S. Joaquín-Cancino, "Yield and quality of seven varieties of sugarcane in El Mante, Tamaulipas", *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, vol. 13, núm. 5, pp. 883–892, 2022.
- [25] S. Xu et al., "Molecular characterization of carbendazim resistance of *Fusarium* species complex that causes sugarcane pokkah boeng disease", *BMC Genomics*, vol. 20, núm. 1, p. 115, 2019, doi: 10.1186/s12864-019-5479-6.
- [26] T. Lian et al., "Impact of intercropping on the coupling between soil microbial community structure, activity, and nutrient-use efficiencies", *PeerJ*, vol. 2019, núm. 2, 2019, doi: 10.7717/peerj.6412.
- [27] M. Tayyab, Z. Yang, C. Zhang, W. Islam, W. Lin, y H. Zhang, "Sugarcane monoculture drives microbial community composition, activity and abundance of agricultural-related microorganisms", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, núm. 35, pp. 48080–48096, 2021, doi: 10.1007/s11356-021-14033-y.
- [28] Z. Pang et al., "Continuous Sugarcane Planting Negatively Impacts Soil Microbial Community Structure, Soil Fertility, and Sugarcane Agronomic Parameters", *Microorganisms*, vol. 9, núm. 10, 2021, doi: 10.3390/microorganisms9102008.
- [29] B. E. Schiebelbein, R. de O. Bordonal, C. E. P. Cerri, D. M. da S. Oliveira, y M. R. Cherubin, "Mineral-associated and particulate organic matter in aggregates as a proxy for soil C changes in pasturesugarcane land use transitions", *Rev Bras Cienc Solo*, vol. 47, pp. 1–19, jul. 2023, doi: 10.36783/18069657rbcs20220103.
- [30] L. C. Barbosa et al., "Soil physical quality associated with tillage practices during sugarcane planting in south-central Brazil", *Soil Tillage Res*, vol. 195, p. 104383, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104383>.

## Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.