

# 11

## Diagnóstico de micronutrientes en suelos cultivados con caña de azúcar en Villa Clara

Diagnosis of micronutrients in soils cultivated with sugar cane in Villa Clara

---

Rafael Más Martínez<sup>1</sup>

Email: [rafael.mas@inicavc.azcuba.cu](mailto:rafael.mas@inicavc.azcuba.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8651-0655>

Yaquelin Cobo Vidal<sup>2</sup>

Email: [yakelin.cobo@inicahl.azcuba.cu](mailto:yakelin.cobo@inicahl.azcuba.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9377-2397>

Emma Pineda Ruiz<sup>1</sup>

Email: [emma.pineda@inicavc.azcuba.cu](mailto:emma.pineda@inicavc.azcuba.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9880-3060>

Iliá Lugo Ruiz<sup>1</sup>

Email: [ilia.lugo@inicavc.azcuba.cu](mailto:ilia.lugo@inicavc.azcuba.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2185-5273>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones de la caña de azúcar, Villa Clara. Cuba.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Holguín. Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Más Martínez, R., Cobo Vidal, Y., Pineda Ruiz, E. y Lugo Ruiz, I. (2024). Diagnóstico de micronutrientes en suelos cultivados con caña de azúcar en villa clara. *Revista Científica Agroecosistemas*, 12(1), 98-104. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

### RESUMEN

La extracción continuada de micronutrientes y su escasa reposición en los agrosistemas cañeros, ha conllevado al agotamiento de estos elementos en los suelos y pudiera ser una de las causas de los bajos rendimientos y el deterioro actual de muchas plantaciones en la región. Con el objetivo de conocer la disponibilidad de micronutrientes que presentan los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en Villa Clara se realizó el presente trabajo, para ello se colectaron 170 muestras de suelo representativas de las diferentes regiones edafoclimáticas de la provincia y se les determinó el contenido de Zn, Cu, Fe, Mn y Ni disponibles. Se utilizó como solución extractiva el ácido dietilentriaminopentacético y la espectrofotometría de absorción atómica como método analítico. El análisis descriptivo de los datos se realizó mediante STATISTICA 12. Se confeccionaron mapas con la distribución espacial de micronutrientes en suelo, mediante QGIS. Análisis foliares de caña de azúcar se llevaron a cabo para complementar el diagnóstico. De los suelos estudiados el 24,9% presentaron deficiencia de hierro; 8,9% de cinc y 6,2% de cobre. Se demuestra la necesidad de continuar incorporando el diagnóstico de estos elementos en los programas de fertilización y mejoramiento de suelos.

Palabras clave:

DTPA, Edafología, Microelementos.

### ABSTRACT

The continued extraction of micronutrients and their poor replacement in sugarcane agrosystems has led to the depletion of these elements in the soil and could be one of the causes of the low yields and current deterioration of many plantations in the region. With the objective of knowing the availability of micronutrients present in the soils dedicated to the cultivation of sugar cane in Villa Clara, this work was carried out. For this purpose, 170 soil samples representative of the different edaphoclimatic regions of the province were collected and determined the content of available Zn, Cu, Fe, Mn and Ni. Diethylenetriaminepentacetic acid was used as an extractive solution and atomic absorption spectrophotometry was used as an analytical method. The descriptive analysis of the data was carried out using STATISTICA 12. Maps were made with the spatial distribution of micronutrients in soil, using QGIS. Sugarcane foliar analyzes were carried out to complement the diagnosis. Of the soils studied, 24.9% presented iron deficiency; 8.9% zinc and 6.2% copper. The need to continue incorporating the diagnosis of these elements in fertilization and soil improvement programs is demonstrated.

Keywords:

DTPA, Soil Science, Microelements.

## INTRODUCCIÓN

La pérdida de la fertilidad de los suelos es una de las principales causas del decrecimiento de la producción agrícola. Un interés especial se les ha prestado a los macronutrientes (N, P, K), mientras que las investigaciones sobre el contenido de micronutrientes han sido relativamente poca abordadas.

Los micronutrientes son aquellos elementos que los cultivos requieren en bajas cantidades y su concentración en el tejido vegetal es del orden de mg kg<sup>-1</sup>. Hasta el momento, se incluyen al boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y cinc (Zn). El inadecuado suministro de micronutrientes en el suelo, puede limitar el crecimiento y rendimiento de cultivos y praderas, aunque todos los demás nutrientes esenciales estén en cantidades adecuadas (Vistoso y Martínez, 2019).

La generalidad de los micronutrientes se encuentra asociados con enzimas que regulan distintos procesos metabólicos, principalmente la respiración (Cu, Fe, Mn, Zn), la fotosíntesis (Cu, Mn) y la síntesis de clorofila (Cu, Fe, Zn). El Mn interviene, además, en el proceso de regulación enzimático y la permeabilidad de las membranas. El Ni interviene en el metabolismo del N, hidrólisis de la urea y favorece el crecimiento (Kirkby y Romheld, 2008; Yepes, 2019).

No obstante, al importante rol que desempeñan estos elementos en el metabolismo de las plantas, la falta de conocimiento acerca de su impacto en caña de azúcar se refleja en el poco uso en este sector (Silva y Ferreira, 2021; Santos y Ruiz, 2019).

La deficiencia de micronutrientes es llamada "hambre oculta" y puede causar desordenes en el metabolismo de las plantas visualmente expresada en forma de clorosis, necrosis y defoliación (Noreen *et al.*, 2018).

Con el avance de una agricultura más intensiva y extractiva han comenzado a presentarse carencias de micronutrientes debido a un bajo nivel de disponibilidad en el suelo y una alta extracción por las cosechas. El aumento de la pureza de los fertilizantes minerales, el menor empleo de los abonos orgánicos y el desarrollo de factores antropogénicos y naturales, intensificados en la actualidad por el cambio climático, son otras de las razones del incremento de estas deficiencias.

En numerosos países se han observado carencias de micronutrientes y respuestas significativas de los cultivos a la aplicación de los mismos. En la India la deficiencia de Zn en suelos agrícolas se ha incrementado en los últimos años entre un 44% a un 48% y se estima esta se incremente hasta un 63% en el 2025 (Panneerselvam and Palaniyandi, 2014).

Buffa y Ratto (2005) al estudiar 48 perfiles de suelos en la llanura cordobesa, franja occidental de la llanura pampeana Argentina, donde predominan los Molisoles,

detectaron deficiencias de Zn y Cu. Respuestas a la fertilización con cinc han sido obtenidas en ese país en maíz y trigo (Ferraris, 2013). Lopes y Abreu (2000), realizaron una caracterización de 518 muestras de suelos superficiales de Brasil y determinaron que el 70% de las muestras poseían deficiencia de Cu, el 95% de Zn y el 37% de Mn. Un resumen realizado sobre la frecuencia de ensayos con respuesta positiva a la aplicación de micronutrientes en caña de azúcar en Brasil mostró que hubo incrementos significativos a la adición de Cu, Mn, B y Fe (Malavolta, 1994; Yamada, 2019).

En suelos cultivados de maíz en Villaflores, Chiapas (México) se encontró que los micronutrientes más deficientes fueron el B y Zn en el 90 y 46% de los casos analizados, atribuido al bajo contenido de materia orgánica, su formación sobre rocas ígneas y lixiviación por la lluvia especialmente en suelos ácidos y de textura gruesa (López *et al.*, 2019).

Estudios de micronutrientes en suelos de agrosistemas ganaderos de la región central de Cuba, mostraron deficiencias de Cu, Mn y Zn, que provocaron una disminución significativa de la eficiencia reproductiva de los rebaños bovinos (Noval *et al.*, 2014). Deficiencias de cinc también han sido reportadas en Vertisoles cultivados con caña de azúcar de la región centro oriental de este archipiélago (Cobo, 2022).

La provincia de Villa Clara ubicada en la región central de Cuba posee aproximadamente unas 120 000 hectáreas dedicadas al cultivo de la caña de azúcar, distribuidas en 10 empresas agroindustriales azucareras. La agroindustria azucarera produce azúcar, alcohol, energía, alimento animal, entre otros y constituye la base fundamental del desarrollo socioeconómico del territorio.

El cultivo continuado de la caña de azúcar extrae cantidades de nutrimentos que deben ser repuestos al suelo mediante los programas de fertilización establecidos en el país. Esta política se cumple para los macronutrientes N, P y K, no así para los micronutrientes los cuales han tenido una escasa o nula reposición y podrían generarse deficiencias de estos nutrimentos en algunas áreas.

El objetivo del estudio es realizar un diagnóstico de la disponibilidad de micronutrientes Zn, Cu, Mn, Fe y Ni en los agroecosistemas cañeros de la provincia Villa Clara.

### Materiales y métodos

El estudio se realizó en las áreas de abastecimiento de caña de azúcar de las empresas agroindustriales azucareras (ingenios) de la provincia Villa Clara, limitadas por los meridianos -79,2990988° y -80,7594213° de longitud oeste y los paralelos 21,9520876° y 23,0586098° de latitud norte, con centroide (-80,0321161° O y 22,5070188° N) (Longitud/Latitud, WGS84).

Acorde a la clasificación climática de Köppen, el clima de la región se clasifica como Aw; tropical, estacionalmente húmedo, con dos estaciones, una lluviosa (mayo a

octubre) y otra seca (noviembre a abril), con promedios anuales de precipitación entre 1 400 y 1 600 mm. La temperatura media anual es de 24,5°C, la más baja ocurre en enero (20,9°C) y la más alta en agosto (26,9°C). La humedad relativa es alta, más del 80% de junio a enero y de febrero a mayo se registran valores entre 75 y 78%, según datos de la Estación Meteorológica del Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), municipio de Santo Domingo, de la referida provincia.

Se tomaron con el empleo de barrena agroquímica 170 muestras de suelos de los primeros 20 cm de profundidad, de las diferentes regiones edafoclimáticas de Villa Clara (Figura 1). Los principales agrupamientos de suelos se corresponden con los Ferralíticos (Ferralsols), Fersialíticos y Pardos Sialíticos (Cambisols), Vertisoles (Vertisols), Gleysoles (Gleysols) y Húmicos Sialíticos (Phaeozems), acorde a la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015) y la Base referencial Mundial (IUSS Working Group WRB, 2015).

Las muestras estaban conformadas por 20 a 30 submuestras por la diagonal de cada unidad mínima de manejo (campos de caña) y así conformar una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg. Las mismas fueron secadas, trituradas y tamizadas a 1mm, para su caracterización analítica. Se les determinó el contenido de micronutrientes disponibles, mediante extracción con dietilentriaminopentacético (DTPA) y trietanolamina (TEA) (Lindsay y Norvell, 1978).

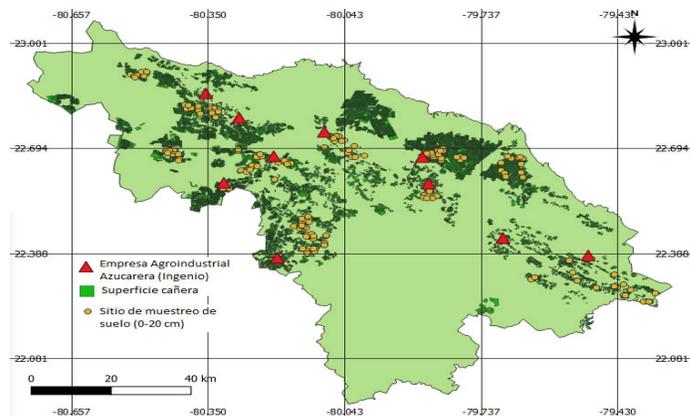
Los elementos se analizaron por la técnica de Absorción Atómica en un Espectrómetro Marca SOLAAR 929 de UNICAM. GB, empleando como fuente de radiación lámparas de cátodo hueco de cada elemento.

La caracterización química de las muestras incluyó además el grado de acidez (pH KCl), por el método potenciométrico, relación suelo:solución 1:2,5, materia orgánica del suelo (MOS) por digestión con  $K_2Cr_2O_7$  y  $H_2SO_4$  (Walkley & Black), el fósforo y potasio asimilables (P<sub>asim.</sub> y K<sub>asim.</sub>) mediante extracción con  $H_2SO_4$  0,1 N.

Los análisis foliares de caña de azúcar se llevaron a cabo por digestión húmeda ( $HNO_3$  65% y  $HClO_4$  70%, con una relación (2,5:1). Se tomó 1g de muestra y se llevó a volumen de 50 ml. Los elementos se analizaron por la técnica de absorción atómica.

Para el análisis descriptivo de los datos se utilizó el software STATISTICA 12 que permitió el cálculo de la media, mediana, mínimo, máximo, desviación estándar y coeficiente de variación. Se determinó además la normalidad (W) de cada variable mediante la prueba de Shapiro-Wilk. El estudio de las relaciones entre los micronutrientes y otras propiedades químicas del suelo se realizó mediante la confección de una matriz de correlación.

**Fig. 1.** Localización geográfica de las áreas cañeras y sitios de muestreo de suelos, provincia Villa Clara, Cuba.



**Fuente:** Elaboración propia

Se realizaron análisis de comparación de medias entre los agrupamientos de suelo y los contenidos de micronutrientes en suelo, se utilizó un análisis de varianza de Fisher. Cuando existieron diferencias significativas, se empleó la prueba de comparación de medias Tukey.

Se confeccionaron mapas temáticos que muestran la distribución espacial de micronutrientes disponibles en suelo, se aplicó el método para interpolaciones espaciales de ponderación de distancias inversas (IDW: inverse distance weighting), mediante el Sistema de Información Geográfica QGIS.

## Resultados y discusión

El análisis estadístico descriptivo de las 170 muestras de suelo se observa en la tabla 1. El contenido medio de micronutrientes disponibles en los suelos en orden decreciente fue: Mn > Fe > Zn > Ni > Cu. En estudios de micronutrientes en la región centro oriental de Cuba, donde predominan los Cambisoles y Vertisoles, el orden de abundancia fue Mn > Fe > Cu > Ni > Zn, existiendo diferencias con respecto a los elementos Cu y Zn, dado por los niveles más bajos de cinc detectados en los suelos de aquel territorio (Cobo, 2022).

Las propiedades en estudio mostraron una alta dispersión en la superficie agrícola, valores en el coeficiente de variación superiores al 60% indican alta variabilidad (Xavier y Déleg, 2018). Resultados similares fueron obtenidos por Noval *et al.* (2014) y Cobo (2022) en las regiones central y oriental respectivamente de Cuba, lo que denota la gran variabilidad edáfica del país.

Los suelos se caracterizaron por presentar un grado de acidez cercano a la neutralidad, con contenidos medios de materia orgánica, alta capacidad de intercambio catiónico, con predominio del Ca y Mg en el complejo de adsorción, medianamente abastecidos de fósforo y potasio asimilables, según las categorías del Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE)

del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba (INICA).

El 8,9 % de la superficie estudiada presentó deficiencia de cinc, acorde al valor crítico planteado en la literatura de 1 mg Kg<sup>-1</sup> (Ferraris, 2013), si tenemos en cuenta el rango crítico de 0,2 a 2 mg Kg<sup>-1</sup> (Buffa y Ratto, 2005), el área

afectada se incrementa a 9,4% (Figura 2). Deficiencias de Zn fueron reportadas en la región centro oriental de Cuba, asociadas a la formación de compuestos poco solubles (óxidos, carbonatos y fosfatos) con el aumento de la alcalinidad de los suelos (Cobo, 2022).

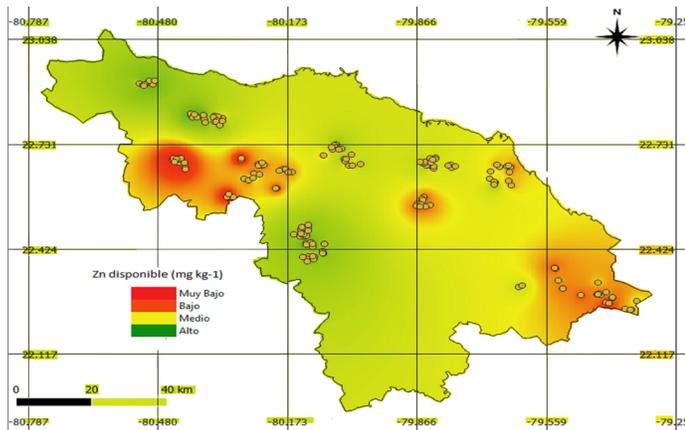
**Tabla 1.** Estadísticos calculados para las variables de suelo (n=170).

Estadígrafo	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desv. Est.	C.V (%)
pH KCl	-log <sub>10</sub> (H <sup>+</sup> )	3,90	7,70	-	6,0	0,90	10,34
MOS	%	1,42	5,05	3,01	2,85	0,82	27,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg 100 g <sup>-1</sup>	0,43	56,94	7,06	3,70	8,24	116,76
K <sub>2</sub> O		1,61	50,99	14,38	13,28	8,06	56,06
Ca <sup>2+</sup>	cmol (+) kg <sup>-1</sup>	5,34	89,49	40,68	40,12	20,68	50,83
Mg <sup>2+</sup>		0,86	52,90	7,63	5,06	8,73	114,53
K <sup>+</sup>		0,13	1,08	0,46	0,45	0,20	44,75
Na <sup>+</sup>		0,09	4,53	0,70	0,38	0,83	119,52
CIC		7,49	94,11	49,60	49,45	21,94	44,24
Fe		2,13	88,58	20,18	16,36	15,01	74,37
Mn		4,61	227,55	50,87	40,54	40,64	79,89
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	0,35	25,20	4,16	2,48	4,12	99,06
Zn		0,32	34,68	12,36	9,74	8,45	64,34
Ni		0,96	39,84	9,08	7,39	6,56	72,27

Desv. Est.- Desviación Estándar C.V.- Coeficiente de variación

Fuente: Elaboración propia

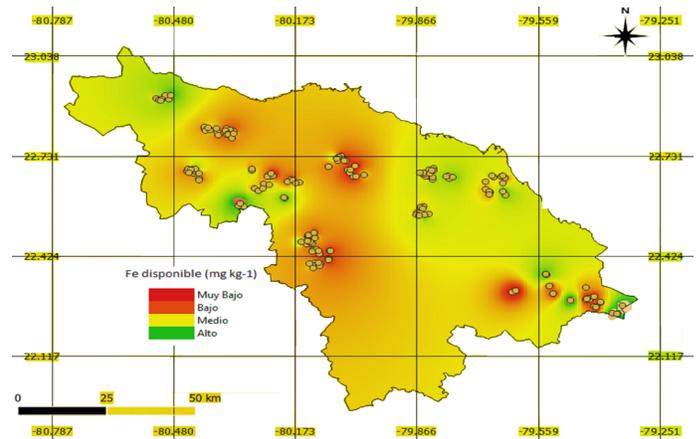
**Fig. 2.** Distribución espacial del contenido de cinc disponible en suelos de Villa Clara.



Fuente: Elaboración propia

El 24,9% de la superficie presentó deficiencia de hierro, acorde al valor crítico establecido en la literatura de 10 mg Kg<sup>-1</sup> (Buffa y Ratto, 2005) (Figura 3). Este resultado se corresponde con el obtenido por (Roca *et al.*, 2007) en la región noroeste de Argentina, donde un 30% de los suelos son deficientes en Fe.

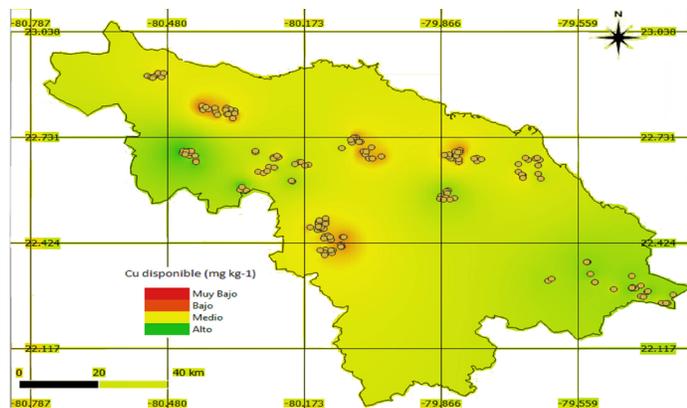
**Fig. 3.** Distribución espacial del contenido de hierro disponible en suelos de Villa Clara.



Fuente: Elaboración propia

El 6,2% de la superficie presentó deficiencia de cobre, acorde al valor crítico de 0,8 mg Kg<sup>-1</sup> obtenido por Buffa y Ratto (2005) (Figura 4). Este último valor fue inferior al detectado en Cambisoles de ecosistemas ganaderos del centro de Cuba, donde el 41,5% de las muestras presentaron deficiencias de cobre (Noval *et al.*, 2014).

**Fig. 4.** Distribución espacial del contenido de cobre disponible en suelos de Villa Clara.



**Fuente:** Elaboración propia

Con relación al manganeso disponible, sólo el 1,2% de la superficie estudiada presentó deficiencias, acorde al valor crítico de 5 mg Kg<sup>-1</sup> (Buffa y Ratto, 2005).

Los resultados mostraron una alta variabilidad espacial para el Ni disponible en los suelos.

La tabla 2 muestra la matriz de correlación entre los contenidos de micronutrientes disponibles y otras propiedades químicas del suelo. Se encontró que existe correlación negativa entre el pH KCl y los micronutrientes Fe, Mn y Cu. El aumento del pH, generalmente está asociado al aumento de carbonatos libres en la solución del suelo, los cuales forman compuestos poco solubles con los micronutrientes catiónicos, disminuyendo en sentido general su disponibilidad.

Una alta correlación negativa también fue encontrada entre el Zn y el Cu. Correlaciones positivas significativas se encontraron entre el Fe y el Mn, lo que sugiere que su variación en el suelo es condicionada por factores similares, como por ejemplo el pH, lo que quedó demostrado por la existencia de una correlación negativa (pH KCl vs Fe y pH KCl vs Mn).

#### *Comparación de los contenidos de micronutrientes por agrupamiento de suelo*

Al realizar el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre el contenido medio de cinc disponible y los agrupamientos de suelo a un nivel de significación de 5% (Figura 5). Los Ferralsoles resultaron los de menor contenido de cinc disponible, esto puede estar asociado a que estos suelos se caracterizan por presentar arcillas del tipo 1:1 y sesquióxidos y poseen además los niveles más bajos de materia orgánica, factores que contribuyen a una menor fijación y adsorción de este elemento, lo que propicia su lavado y pérdida en el perfil de suelo.

Con relación al contenido medio de cobre disponible se encontraron diferencias significativas entre los agrupamientos de suelos a un nivel de significación de 5% (Figura 6). Los Gleysols y Phaeozems presentaron los valores más bajos con relación a los demás grupos, esto puede ser debido a que estos agrupamientos mostraron los mayores contenidos de materia orgánica, que, al asociarse con el cobre, forma quelatos complejos no solubles a pH alto, que son fuertemente adsorbidos por las arcillas del tipo 2:1, disminuyendo su disponibilidad para las plantas.

No hubo diferencias significativas para los demás elementos (Fe, Mn y Ni) a un nivel de significación de 5%.

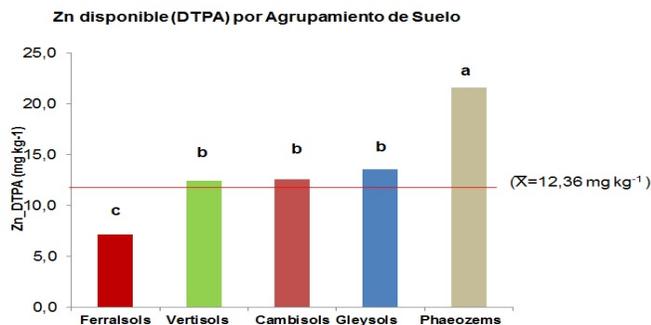
**Tabla 2.** Matriz de correlación entre los micronutrientes disponibles y otras propiedades edáficas.

	pH KCl	P asim.	K asim.	MO	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC	Ni*	Fe*	Mn*	Zn*	Cu*
pH KCl	1,00													
P(asim.)	0,28*	1,00												
K(asim.)	0,32*	0,34*	1,00											
MO	0,22*	0,24*	0,34*	1,00										
Ca	0,49*	0,31*	0,22*	0,23*	1,00									
Mg	-0,30*	-0,11	-0,18*	-0,42*	0,17	1,00								
Na	-0,12	-0,06	-0,06	-0,38*	0,24*	0,58*	1,00							
K	0,31*	0,16	0,51*	0,43*	0,47*	-0,08	-0,04	1,00						
CIC	0,28*	0,26*	0,18	0,05	0,87*	0,50*	0,41*	0,38*	1,00					
Ni_DTPA	-0,05	-0,13	-0,03	-0,06	0,06	0,10	0,07	0,00	0,08	1,00				
Fe_DTPA	-0,20*	-0,13	-0,12	-0,06	-0,06	0,03	-0,01	-0,07	-0,01	0,26*	1,00			
Mn_DTPA	-0,25*	-0,09	-0,09	-0,05	-0,13	0,04	0,04	-0,10	-0,01	0,26*	0,39*	1,00		
Zn_DTPA	0,20*	0,28*	0,36*	0,11	0,22*	-0,08	-0,09	0,14	0,15	0,24*	-0,06	-0,11	1,00	
Cu_DTPA	-0,19*	-0,18*	-0,27*	-0,15	-0,33*	0,00	0,12	-0,23*	-0,31	-0,16*	0,06	0,29*	-0,62*	1,00

\*Significativo al p<0.05\*

**Fuente:** Elaboración propia

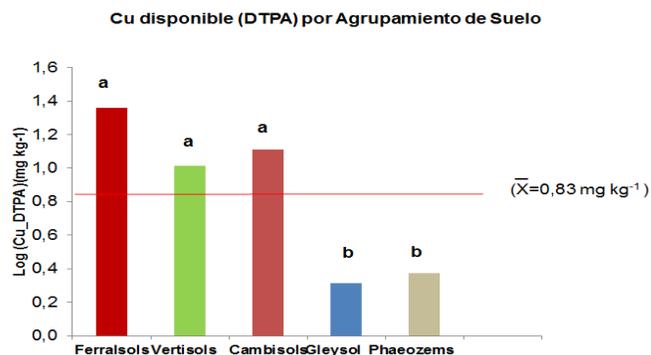
**Fig. 5.** Comparación entre las medias del contenido de Zn (DTPA) para los diferentes agrupamientos de suelo.



Letras diferentes sobre cada barra indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) ( $n = 170$ ).

**Fuente:** Elaboración propia

**Fig. 6.** Comparación entre las medias del contenido de Cu (DTPA) para los diferentes agrupamientos de suelo.



Letras diferentes sobre cada barra indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) ( $n = 170$ ).

**Fuente:** Elaboración propia

*Diagnóstico foliar de microelementos en caña de azúcar (Villa Clara)*

La tabla 3 muestra los estadígrafos de micronutrientes en muestras foliares de caña de azúcar.

**Tabla 3.** Estadígrafos de los contenidos foliares de micronutrientes en caña de azúcar ( $n=26$ ).

Variabes	Unidad	Media	Mín.	Máx.	Desv. Est.	CV (%)
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	127.27	37.50	346.20	89.01	69.94
Mn		49.94	35.00	67.10	9.89	19.80
Cu		6.89	0.10	8.50	1.59	23.01
Zn		32.58	20.40	45.80	8.67	26.61
Ni		7.39	4,69	12.49	2.67	36.13

Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo; DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

**Fuente:** Elaboración propia

Valores críticos (mg kg<sup>-1</sup>): Zn-15; Fe-40; Cu-3; Mn-25; Ni-4.

De forma general las plantaciones de caña de azúcar analizadas estaban medianamente abastecidas de Cu, Fe y Zn. Esta situación pudiera estar limitando la producción cañera en la región. Con relación al Mn y Ni la situación es más favorable ya que presentan contenidos superiores al límite crítico.

### Conclusiones

- Existe alta variabilidad en los contenidos de micronutrientes disponibles en los suelos de la región central de Cuba.
- Los suelos estudiados presentaron un 24.9% de contenidos bajos de Fe, 8.9% de Zn y 6.2% de Cu.
- Los suelos representados por el agrupamiento Ferralsols presentaron los valores más bajos de Zn y los Gleysols y Phaeozems de Cu.
- Se demostró la necesidad de continuar incorporando y desarrollando el diagnóstico de estos elementos

en los programas de fertilización y mejoramiento de suelos.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Buffa, EV & E Ratto. (2005). Disponibilidad de cinc, cobre, hierro y manganeso extraíble en DTPA en suelos de Córdoba (Argentina) y variables edáficas que la condicionan. *Ciencia del Suelo* 23(2): 1-8.

[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672005000200001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672005000200001&script=sci_arttext)

Cobo, Y. (2022). Contenido de microelementos totales y asimilables en suelos plantados con caña de azúcar (*saccharum* spp.) de la región centro oriental de Cuba. [Tesis en opción al título de Doctora en Ciencias]. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Cuba.

- Ferraris, G. (2013). Simposio Fertilidad. Nutrición de Cultivos para la intensificación productiva sustentable. Micronutrientes en región pampeana Argentina. Posicionamiento y tecnología de aplicación. IPNI.
- Hernández, J. A., Pérez, J. J. M., Bosch, I. D., Castro, S. N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba.
- IUSS Working Group WRB. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de Suelos, FAO, Roma, 106 p.
- Kirkby E. Y V. Romheld. (2008). Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad. Rev. Informaciones Agronómicas. No.68. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Micronutrientes-enlaFisiologia.pdf>
- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1978). Development of a Dtpa Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Lopes, A.S.; Abreu, C.A. (2000). Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Schaefer, C.E.G.R. (Ed.).
- López, B. W.; Reynoso, S. R.; Villar, S. B.; López, M. J.; Camas, G. R. y García, S. J. O. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10(4). <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- Malavolta, E. (1994). Fertilizantes e seu impacto ambiental: Micronutrientes e metais pesados, Mitos, mistificação e fatos. São Paulo: Produquímica, 153
- Noreen, S.; Fatima, Z.; Ahmad, S.; Athar, H.U.R.; Ashraf, M. (2018). Foliar application of micronutrients in mitigating abiotic stress in crop plants. In: Hasanuzzaman, M.; Fujita, M.; Oku, H.; Nahar, K.; Hawrylak-Nowak, B. (Eds.) Plant nutrients and abiotic stress tolerance. *Switzerland: Springer* 1, 95-81.
- Noval, A. E; García, D. J.R; García, L. R.; Quiñones, R. R y Mollineda, T. A. (2014). Caracterización de algunos componentes químicos, en suelos de diferentes agroecosistemas ganaderos. *Centro Agrícola*, 41(1): 25-31.
- Panneerselvam, S. P. and Palaniyandi, S. (2014). Response of Maize to Soil Applied Zinc Fertilizer under Varying Available Zinc Status of Soil Indian. *Journal of Science and Technology*, 7(7), 939–944.
- Roca, N.; Pazos, M.S. & Bech, J. (2007). Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, cinc en suelos del no argentino. *Ciencia del Suelo* 25(1) 31-42. <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v25n1/v25n1a05.pdf>
- Santos Junior, P.R.A.; Ruiz, J.G.C.L. (2019). Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função de adubação foliar com micronutrientes aditivados. *Science and Technology Innovation in Agronomy*. 3 (1):163-170. <https://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistastia/sumario/59/05022020162009.pdf>
- Silva, L. D; Ferreira, J.M. (2021). Micronutrient nutrition in sugarcane: A brief review. *Scientia Agraria Paranaensis*. 20 (4): 214-218. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20220271873>
- Vistoso, E.M.; Martínez, J. (2019). Los micronutrientes del suelo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue. Ministerio de la Agricultura. Chile. Ficha técnica 18.
- Xavier, R.; Déleg, P. (2018). Determinación de la variabilidad espacial de las características físicas del suelo en la parcela Experimental Irquis. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30227/1/Trabajo%20de%20Titulacion%20C3%B3n.pdf> .
- Yamada, T. (2019). Deficiências de micronutrientes, ocorrência, detecção e correção: o sucesso da experiência brasileira. Encarte Técnico. Potafos. *Informações Agrônomicas* Nº 105. 12p. [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/8792536F27663E-7B03257967004AC571/\\$FILE/AA%209.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/8792536F27663E-7B03257967004AC571/$FILE/AA%209.pdf)
- Yepes, R. H. (2019). Nutrición y fertilización con micronutrientes y su efecto en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jack). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 4(2): 93-110.