

## **CONTENIDO DE MICRONUTRIENTES EN SUELOS DE LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA "BRASIL" DE CAMAGÜEY.**

Autores: Dr. C. Agric. Eugenio García del Risco<sup>1</sup>, MSc. Yakelín Cobo Vidal<sup>2</sup>. MSc. Alfredo Rivera Laffertté<sup>1</sup> y Lic. Douglas Montes Álvarez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Centro-oriental. Carretera "Las Mercedes". Teléf:0053(32)515581. CP 72810. Florida, Camagüey

<sup>2</sup>Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera Holguín-Mayarí, Guaro. Teléf.0053 (24)596262 Holguín.

[garciadelrisco@gmail.com](mailto:garciadelrisco@gmail.com)

### **RESUMEN**

Se presentan los resultados de un muestreo para conocer el abastecimiento de micronutrientes en dos de los principales grupos de suelos plantados con caña de azúcar en la Empresa Agroindustrial Azucarera "Brasil" de Camagüey. Se utilizó un muestreo estratificado en 27 bloques cañeros, de los cuales 19 correspondieron al Grupo 1 de suelos ligeros con proceso de formación ferralítica (Ultisoles y Oxisoles) y un Grupo 2 de suelos ricos en arcillas 2:1 (Inceptisoles y Vertisoles). A las muestras se les determinó pH en agua, fósforo y potasio asimilables extracción de Oniani, los micronutrientes hierro; manganeso, cobre y zinc, extraídos con EDTA (ácido etilen-diamino-tetra-acético) y leído en espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados por grupo de suelos fueron procesados mediante el paquete STATISTICA, v8 y se determinaron la media, la desviación típica, el coeficiente de variación, y la normalidad, (Shapiro-Wilks). Se correlacionaron los datos mediante la prueba de Pearson. La correlación entre micronutrientes y otras propiedades, para suelos del Grupo 1, presentaron coeficientes significativos ( $p \leq 0.05$ ) entre el hierro y el cobre y el manganeso, el cobre con el zinc y éste con el pH en agua. En suelos del Grupo II, el hierro correlacionó con el manganeso y cobre y el pH en agua El zinc correlacionó con el pH en agua y el fósforo y potasio asimilables. Para ambos grupos de suelos los valores de hierro, cobre y zinc, se consideran bajos, según el método de extracción con EDTA empleado. Se recomienda ampliar los muestreos a otras empresas, suelos y micronutrientes.

*Palabras clave: caña de azúcar, microelementos, suelos, fertilización, correlaciones.*

### **ABSTRACT**

### **CONTENT OF MICRONUTRIENTS IN SOILS OF "BRASIL" SUGARMILL OF CAMAGÜEY PROVINCE.**

Results of a sampling are presented to know the supply of micronutrients in two of the main groups of soils planted with sugar cane "Brasil" Sugarmill of Camagüey province. A stratified sampling was used in 27 sugarcane blocks, of which 19 corresponded to Group 1 of light soils with a ferralitic formation process (Ultisols and Oxisols) and Group 2 of soils rich in clays 2:1 (Inceptisols and Vertisols). In soil samples were determined pH in water, assimilable phosphorus and potassium extraction of Oniani, micronutrients iron; manganese, copper and zinc, extracted with EDTA (ethylene-diamine-tetra-acetic acid) and read in an atomic absorption spectrophotometer. The results by group of soils were processed using the STATISTICA software, version, and means, standard deviation, variance coefficient and normality (Shapiro-Wilks) were determined. Data were correlated using Pearson's test. The correlation between micronutrients and other properties, for Group 1 soils, presented significant coefficients ( $p \leq 0.05$ ) between iron and copper and manganese, copper with zinc and this with the pH in water. In Group II soils, iron correlated with manganese and copper and pH in water. Zinc correlated with pH in water and assimilable phosphorus and potassium. For both groups of soils, the values of iron, copper and zinc are considered low,

depending on the EDTA extraction method used. It is recommended to extend the sampling to other sugar factories, and soils and micronutrients supply.

*Keywords: sugar cane, microelements, soils, fertilization, correlations.*

## Introducción

Durante muchos años los agricultores se han preocupado por fertilizar los suelos para proporcionar nutrientes a las plantas, pero esto ha sido principalmente para los casos de los elementos mayores (NPK). En Cuba, el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, (INICA) brinda a los productores cañeros, un servicio científico técnico (Servicio de Recomendación de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE), destinado a recomendar sobre criterios científicamente fundamentados la aplicación por unidad mínima de manejo (campo o tablón de caña) de los elementos mayores (NPK), así como enmiendas orgánicas y minerales. Este Servicio se encuentra sometido a constante perfeccionamiento, ya que se retroalimenta de los resultados de una red permanente de experimentos de campo y otras investigaciones.

En Cuba, como en otros países cañeros, se ha prestado menos atención a otros nutrientes esenciales y dentro de ellos a los micronutrientes. Esta situación afecta el crecimiento de las plantas y de una manera indirecta también repercute en la salud humana, debido a que parte de los alimentos que se consumen suelen ser deficientes en micronutrientes, lo que ocasiona la aparición de enfermedades del corazón, páncreas, huesos y del mismo cáncer. (Rodríguez, 2014). Torri et al. (2015) categorizan los microelementos como elementos esenciales para el crecimiento, desarrollo y la reproducción vegetal, requeridos en concentraciones en el orden de  $\text{mg kg}^{-1}$  (partes por millón). Hasta el momento, se ha demostrado la esencialidad de siete microelementos en todas las especies vegetales: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn).

Sus funciones están ligadas fundamentalmente a procesos fisiológicos y bioquímicos; sin los cuales no existe una nutrición simétrica y una supervivencia vegetal. Según Parajón y Martínez, (2013 y Ballabh et al, (2013), juegan un importante papel en el desarrollo de la pared celular, la respiración, la fotosíntesis, la formación de clorofila, la actividad enzimática y la fijación del nitrógeno. Son absorbidos en cantidades minúsculas, su rango parte de sustancias claves en el crecimiento de las plantas, siendo comparables con las vitaminas. (Mcgray y Mylavaram, 2020). Su disponibilidad en las plantas está asociada principalmente con la reacción del suelo. Aunque las cantidades de nutrimentos extraídas por la caña de azúcar son discretas, los valores por tonelada de caña alcanzan para las condiciones de México. 37 g de hierro; 16g de manganeso; 2.8 g de zinc y 0.63 g de B. (Rodríguez, 2014).

Aunque el papel de los microelementos está bien establecido, la información referente a su estatus en la mayoría de los suelos de Cuba es escasa y/o poco actualizada. Las investigaciones realizadas por Bennett y Allison (1928) resultaron pioneras en el estudio de perfiles de suelo, donde se exponen los contenidos de algunos microelementos en la reconocida obra "Los Suelos de Cuba". Los primeros estudios acerca del contenido de las formas asimilables de los microelementos en los principales suelos típicos cubanos en la década de los setenta y ochenta del pasado siglo, fueron reseñados por Muñiz (2008) en el libro "Los micronutrientes en la agricultura" y por Companioni (1973) en su tesis doctoral. A partir del año 2015, se incorporó a los proyectos de investigación que desarrolla el INICA, el titulado "Contenido y forma de los micronutrientes en los suelos cultivados con caña de azúcar en Cuba", cuyo objetivo principal es conocer el estado de los micronutrientes en los principales suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar y desarrollar investigaciones que permitan incorporar recomendaciones de micronutrientes al servicio científico técnico que se brinda a los productores.

Se seleccionó para realizar el estudio la Empresa Agroindustrial Azucarera "Brasil" del municipio de Esmeralda en el extremo noroccidental de la provincia de Camagüey que comprende un fondo

de tierra dedicada a caña de azúcar de 29268.36 ha y resulta bastante representativa de los principales suelos existentes en la provincia y el país.  
(Figura 1).

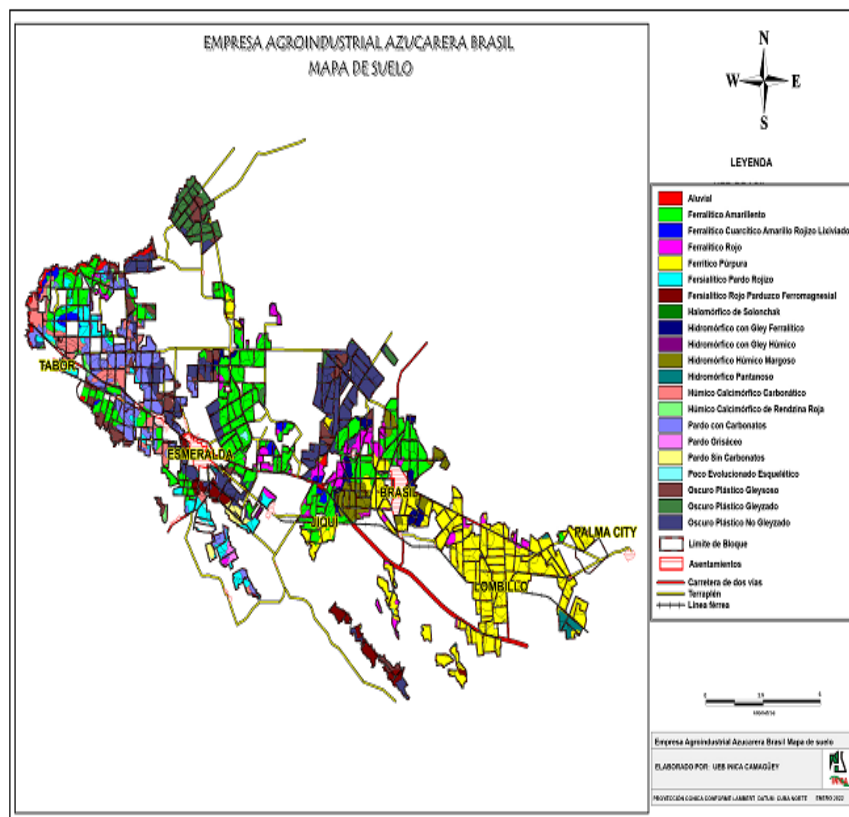


Figura 1. Distribución de suelos en la Empresa Agroindustrial Azucarera “Brasil”, según Mapa de Suelos 1:25000, (Instituto de Suelos, 1975).

Con el objetivo de conocer los contenidos asimilables y las interacciones de los microelementos esenciales hierro (Fe); manganeso (Mn); cobre (Cu) y zinc (Zn), se desarrolló el trabajo que se presenta a continuación.

#### Materiales y métodos.

El área de estudio comprendió dos grupos de suelos

- Grupo 1: Suelos con predominio de arcillas de tipo 1:1 (Ferríticos y Ferralíticos Rojos típicos) con 14 702.58 ha (51.23% del fondo de tierra de la Empresa).
- Grupo 2: Suelos con predominio con arcillas del tipo 2:1 (Pardos con y sin carbonatos y Oscuros plásticos gleyzados, no gleyzados y gleysosos y Húmicos carbonáticos típicos, con 10154.88 ha (34.52% del fondo de tierra de la Empresa).

Se utilizó como base la Segunda Clasificación Genética. (Instituto de Suelos, 1975). Para seleccionar los puntos a caracterizar se utilizó un muestreo aleatorio estratificado que consistió en delimitar zonas homogéneas con marcada variabilidad entre ellas, además de un tamaño que justifique un manejo diferenciado de la fertilización (Carretero *et al.*, 2016). El número de muestras por cada grupo se determinó, empleando el procedimiento recomendado por Hernández (2003) que permite caracterizar la población para cada estrato y lograr el objetivo de la investigación con el menor error experimental. De esta forma se obtuvo el tamaño óptimo de la muestra para cada Grupo de suelos formado.

Determinada la cantidad de muestras (27), para enumerar y seleccionar los campos a muestrear se empleó la herramienta (RowID) con el uso del SIG MAPINFO versión 12.0, el catastro cañero 1:10 000 de la Empresa Agroindustrial Azucarera Brasil” y el Mapa Nacional de Suelos, escala 1:25 000 (Instituto de Suelos, 1975).

Esta clasificación posee la base de conocimientos del mapa de suelos 1:25 000 con la representación espacial de la información edafológica del área cañera de la empresa propuesta en la investigación.

Una vez seleccionados los campos para el estudio, se realizaron los muestreos de suelos en la capa superficial (0-20 cm de profundidad). La toma de muestras de suelos se realizó con barrena agroquímica, siguiendo las Normas y Procedimientos Metodológicos del Servicio de Recomendación de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE). Se tomó una muestra por unidad mínima de manejo (campo o tablón de caña), formada por 30 submuestras hasta conformar una muestra compuesta por aproximadamente 1 kilogramo de suelos, antes de la plantación, cuando el terreno estuvo listo para surcar (Villegas et al., 2007).

Las muestras, secadas al aire, se pasaron por un tamiz de 0.5 mm y se enviaron, debidamente identificadas a los laboratorios especializados para la caracterización analítica donde se le realizaron determinaciones de pH (KCl) por el método potenciométrico, (relación suelo-solución 1:2,5) y  $P_2O_5$  y  $K_2O$  asimilables (Oniani) ( $H_2SO_4$  0,1 N), según las Normas y Procedimientos del Departamento de Suelos y Agroquímica del INICA (1990). (Tabla 1).

Tabla 1. Métodos analíticos para la caracterización agroquímica de las muestras.

Análisis	Extracción	Determinac.	Observaciones	Norma Cubana
pH	Agua	Potenciometría	Rel. Suelo/Sol. (1:2,5)	ISO 10390: 1999
P asim.	$H_2SO_4$ 0,1N	Colorimetría	Oniani	52: 1999
K asim.		Fotomet.de llama	Oniani	

Los contenidos asimilables de hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn), fueron extraídos con la solución EDTA. Las determinaciones se realizaron en la Unidad de Proyectos Laboratorio (UPL) del Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ)-Moa, con el empleo de un equipo de Absorción Atómica tipo SOLAAR 929 de UNICAM GB.

Las categorías de fertilidad fueron evaluadas según las Normas y Procedimientos Metodológicos del SERFE (Villegas *et al.*, 2007) y las calibraciones propuestas por Cairo y Fundora (2005). Para el caso de los micronutrientes se utilizaron las categorías empleadas por Quintero, 1995 y Mortvedt, et al., 1991 (Tabla 2)

Tabla 2. Categorías de los contenidos críticos de microelementos asimilables (EDTA) en suelos.

Categoría	Mn	Fe	Cu	Zn
	<b>mg kg<sup>-1</sup></b>			
<b>Bajo</b>	< 10.0	< 10.0	< 1.0	< 1.5
<b>Medio</b>	10.0 – 15.0	10.0 – 20.0	1.0 – 3.0	1.5 – 4.0
<b>Alto</b>	> 15.0	> 20.0	> 3.0	> 4.0

Para caracterizar la variabilidad, dispersión de las propiedades del suelo y los tenores de microelementos se utilizó la estadística descriptiva. Para determinar si la serie de datos analizados se distribuyen normalmente, se empleó la prueba Shapiro-Wilk. El CV (Coeficiente de Variación) fue analizado según los criterios de Warrick y Nielsen (1980), donde valores menores a 12% son considerados de baja variabilidad, entre 12 y 60% de variabilidad media y superiores a 60% de alta variabilidad.

Para explicar las relaciones entre los microelementos asimilables y las propiedades físico-químicas se realizaron análisis de correlación (Spearman). La regresión múltiple se realizó mediante el

método por pasos (stepwise). Para ello se evaluó la significancia de la variable en los modelos planteados y la bondad de ajuste a través del coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Los valores  $R^2$  se clasificaron de la siguiente manera: menor de 0.30 (muy malo), de 0.30-0.40 (malo), de 0.40-0.50 (regular), 0.50-0.85 (bueno) y mayor de 0.85 (sospechoso) (Rojo, 2007).

El tratamiento de los datos se realizó mediante el paquete STATISTICA 8 de StatSoft. Para la obtención de los mapas temáticos que representan la distribución espacial de los microelementos, se empleó el sistema de información geográfica (SIG) Mapinfo v 12.5 y la herramienta Vertical Mapper v 3.7.1. El proceso de interpolación consistió en agrupar en contornos, aquellos puntos de iguales valores numéricos, usando el método matemático de triangulación y los rangos previamente establecidos

### Resultados y discusión

La estadística descriptiva para los suelos del Grupo 1, (Tablas 3) mostró contenidos entre 0.69 y 11.44 mg kg<sup>-1</sup> y un promedio de 4.99 mg kg<sup>-1</sup> considerado como bajo abastecimiento de este elemento. (Quintero,1995). El coeficiente de variación estuvo en la categoría de alto, por encima de 60%. Varios autores definen como límite crítico para el Fe asimilable 15.0 mg kg<sup>-1</sup> (Castellano, 1991) propone 10.0 mg kg<sup>-1</sup> como valor más adecuado.

En los suelos del Grupo 2 (Tabla 4), con predominio de arcillas 2:1, el valor medio de Fe fue ligeramente superior al obtenido en el Grupo 1 con 5.52 mg kg<sup>-1</sup> y valores máximos y mínimos de 10.30 y 0.71 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente, también considerado como bajos. El coeficiente de variación fue alto, por encima de 70%, asociado esto también al menor número de muestras analizadas. En la Figura 2 se muestra la distribución espacial de los contenidos de Fe asimilable en la Empresa Agroindustrial Azucarera “Brasil”

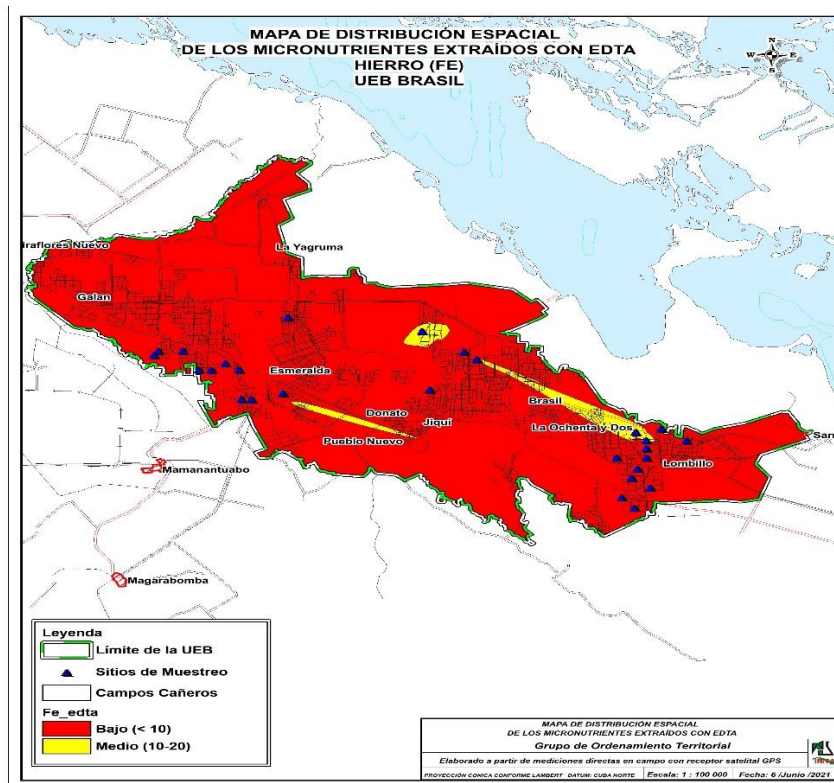


Figura 2. Distribución espacial de los contenidos de Fe asimilable en la Empresa Agroindustrial Azucarera “Brasil”.



En el caso del manganeso, (Tablas 3 y 4), los valores presentados en ambos grupos de suelos corresponden en su mayor proporción a las categorías de alto abastecimiento y dentro del rango reportado por distintos autores para suelos tropicales (Quintero, 1995). El valor medio en suelos del Grupo 1, fue de  $24.24 \text{ mg kg}^{-1}$  y en el Grupo 2, ligeramente inferior con  $22.73 \text{ mg kg}^{-1}$ .

La distribución de los datos no presentó una distribución normal y los coeficientes de variación en la categoría de altos.

En la Figura 3 se muestra la distribución espacial de los contenidos de Mn asimilable en la Empresa Azucarera “Brasil”, mostrando que en el extremo occidental, en la zona que limita con la provincia de Ciego de Ávila y al sur con el municipio de “Carlos Manuel de Céspedes”, se localizan las áreas con predominio de suelos ricos en arcillas del tipo 2:1 que en este caso presentan los menores contenidos de Mn asimilable.

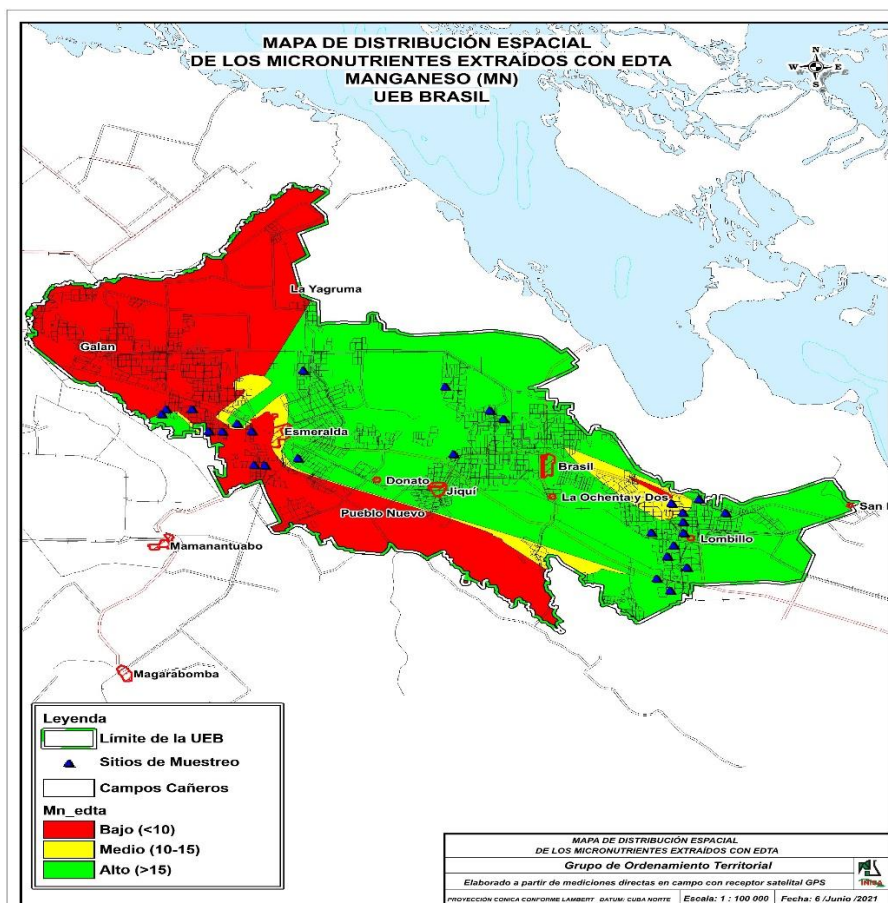


Figura 3. Distribución espacial de los contenidos de Mn asimilable en la Empresa Agroindustrial Azucarera “Brasil”.

Con respecto al cobre (Cu), en los suelos del Grupo 1 (Tabla 3) el contenido medio de Cu fue de  $0.89$  con valores máximos de  $1.25 \text{ mg kg}^{-1}$  y mínimo de  $0.58 \text{ mg kg}^{-1}$ . Estos valores coinciden con los resultados obtenidos por Cordero et al. (2014) en suelos andinos.

En los suelos del Grupo 2, (Tabla 4) se obtuvo un valor medio de  $0.75 \text{ mg kg}^{-1}$ , situado en un rango entre  $0.10$  y  $1.36 \text{ mg kg}^{-1}$ . Como se aprecia en la Figura 4, los suelos en el rango de valores medios, se localizan en un macizo de suelos Ferríticos púrpuras, localizados en zonas cercanas al punto donde está ubicado el central azucarero.

En ambos grupos de suelos los datos se distribuyeron normalmente y los coeficientes de variación estuvieron en la categoría media.

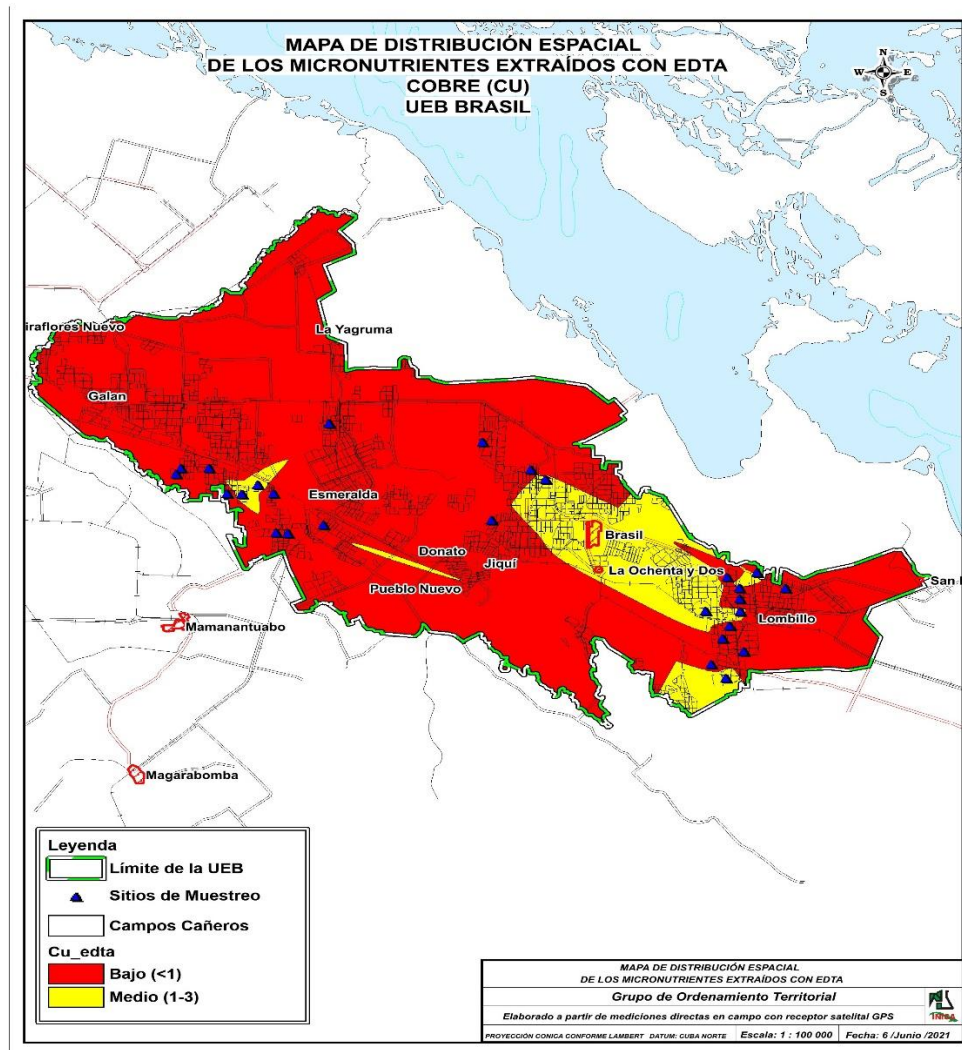


Figura 4. Distribución espacial de los contenidos de Cu asimilable en la Empresa Agroindustrial Azucarera “Brasil”.

Tabla 3. Estadística descriptiva de las propiedades químicas de las muestras analizadas en suelos de naturaleza ferralíticos, ricos en arcillas 1:1. Empresa Agroindustrial Azucarera “Brasil”

Var.	Unidad	Media	Mediana	Mín.	Máx.	Desv. Est.	CV (%)	W
pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>	-log <sub>10</sub> (H <sup>+</sup> )	5.38	4.88	4.10	7.30	1.07	19.83	N
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg 100 g <sup>-1</sup>	1.32	1.38	0.24	2.59	0.64	48.47	N
K <sub>2</sub> O		15.68	9.54	3.22	54.84	14.65	93.43	*
Fe	mg kg <sup>-1</sup> (ppm)	4.99	4.88	0.69	11.44	3.19	63.96	N
Mn		24.24	17.17	1.22	110.58	29.98	123.70	*
Cu		0.89	0.88	0.58	1.25	0.19	21.79	N
Zn		1.02	1.07	0.26	2.05	0.50	48.78	N

Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo; DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación, W: Normalidad; N: Distribución normal; \* Distribución no normal,

Tabla 4. Estadística descriptiva de las propiedades químicas de las muestras analizadas en suelos ricos en arcillas 2:1 (Inceptisoles/Vertisoles)

Var.	Udes	Media	Mediana	Mín.	Máx.	Desv. Est.	CV (%)	W
pH <sub>(H2O)</sub>	-log <sub>10</sub> (H <sup>+</sup> )	6.80	6.85	6.20	7.40	0.42	6.14	N
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg 100 g <sup>-1</sup>	6.97	1.70	0.35	44.59	15.23	218.34	*
K <sub>2</sub> O		25.02	23.19	7.11	65.46	18.40	73.53	N
Fe	mg kg <sup>-1</sup> (ppm)	5.52	6.27	0.71	10.30	3.97	71.97	N
Mn		22.73	17.67	0.97	94.75	30.71	135.12	*
Cu		0.75	0.74	0.10	1.36	0.42	56.48	N
Zn		0.50	0.44	0.28	1.00	0.22	44.57	N

Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo; DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación, W: Normalidad; N: Distribución normal; \* Distribución no normal,

Al evaluar los resultados del microelemento zinc en los suelos del Grupo 1 (ricos en arcillas 1:1 (Tabla 3), se encontró un abastecimiento medio de acuerdo con los criterios expuestos por Quintero (1995). Su contenido varió entre 0.26 y 2.05 mg kg<sup>-1</sup> con un valor medio de 1.02 mg kg. Los resultados obtenidos son comparables a los obtenidos por Cordero *et al.* (2014) de 0,71 mg kg<sup>-1</sup> y con lo señalado por Cabalceta y Molina (2006), quienes definen deficiencias a concentraciones menores a 1,5 mg kg<sup>-1</sup>. Los suelos con abastecimiento medio de zinc, (Figura 5) corresponden a suelos Ferríticos púrpuras, localizados en el extremo sur-oriental de la Empresa Agroindustrial Azucarera “Brasil” (Figura 1).

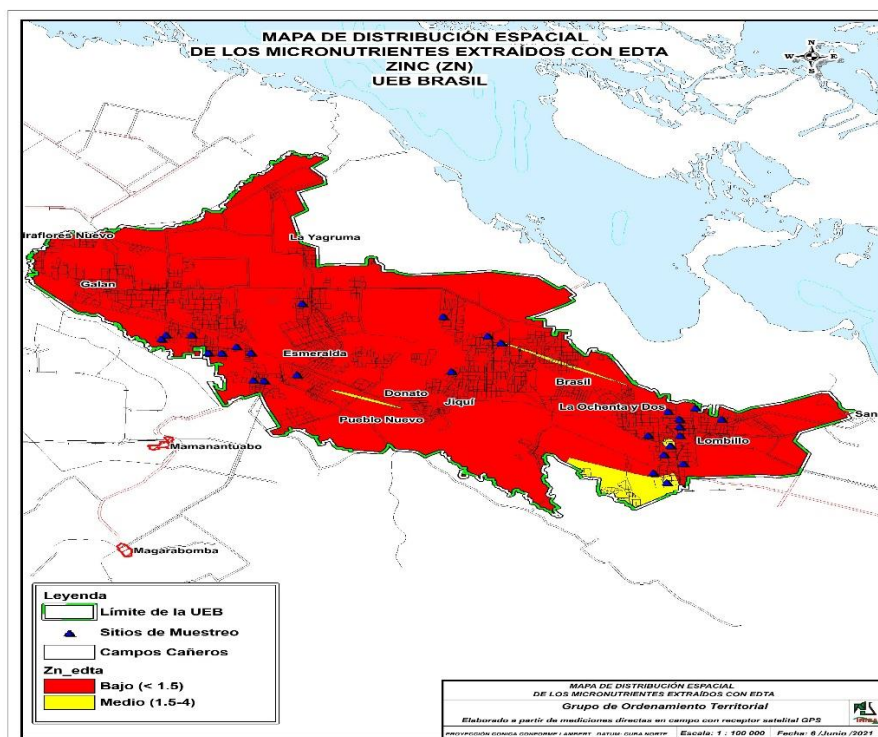


Figura 5. Distribución espacial de los contenidos de Zn asimilable en la Empresa Agroindustrial Azucarera “Brasil”.



En los suelos del Grupo 2 (Tabla 4), el valor medio de zinc asimilable determinado fue de 0.50 mg kg<sup>-1</sup> y rangos entre 0.28 y 1.0 mg kg<sup>-1</sup>), lo que los cataloga de pobremente abastecidos de zinc, según los criterios establecidos por Quintero (1995). En la Figura 5 se presenta la distribución de los contenidos de zinc asimilable en las áreas agrícolas de la Empresa Agroindustrial Azucarera “Brasil”. Para ambos grupos de suelos, los resultados analíticos tuvieron una distribución normal con coeficientes de variación en la categoría media.

En las relaciones funcionales (Tabla 5), entre la reacción del suelo (pH determinado en agua) y las propiedades evaluadas con los microelementos, se encontró que solamente el zinc presentó una relación de tipo antagónica ( $r=-0.67^{**}$ ,  $p=0.01$ , (t de Student). Resultados similares reportaron Arzola et al (2013) en Inceptisoles del Ingenio ECUDOS en Ecuador.

Los contenidos de fósforo y potasio asimilables no tuvieron relación entre sí ni con las formas asimilables de los micronutrientes. El hierro presentó correlaciones positivas con el manganeso y el cobre ( $r= 0.77^*$  y  $0.67^*$  respectivamente ( $p=0,05$ ), considerados como altos (entre 0.50 y 0.85). El cobre correlacionó positivamente ( $r=0.77$ ) con el cinc, Por otra parte, el zinc correlacionó negativamente con el pH del suelo. Resultados similares obtuvieron Bergman y Neubert, (1976) para suelos de Alemania. Estos autores plantean que la fortaleza de absorción de los iones de cinc al complejo de cambio del suelo aumenta a medida que el pH se eleva, la insuficiencia de Zn tiene lugar a pH por encima de 6,0- 6,5, por lo que se evidencia un antagonismo entre ambas propiedades.

Tabla 5. Índices de correlación para los microelementos asimilables y las propiedades químicas en suelos del Grupo 1 de naturaleza ferralítica- (Pearson)

Variables	Fe	Mn	Cu	Zn	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>
Fe	1.00	<b>0.77*</b>	<b>0.63*</b>	0.35	-0.05	-0.43	-0.11
Mn		1.00	0.29	0.18	0.02	-0.26	-0.26
Cu			1.00	<b>0.77*</b>	0.04	-0.41	-0.30
Zn				1.00	0.06	-0.19	<b>-0.67*</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					1.00	0.54	0.03
K <sub>2</sub> O						1.00	0.47
pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>							1.00

Ya que la fortaleza de absorción de los iones de zinc al complejo de cambio del suelo aumenta a medida que el pH se eleva, la insuficiencia de Zn tiene lugar a pH por encima de 6,0- 6,5 (Bergmann y Neubert,1976).

En suelos del Grupo 2 de naturaleza arcillosa (Tabla 6) se encontraron relaciones antagónicas entre el hierro y el manganeso y también con el pH del suelo. La disponibilidad del hierro en el suelo aumenta con la acidez, resultado coincidente con los encontrados por Arzola et al, (2013) en suelos ecuatorianos. En la propia Empresa Agroindustrial Azucarera “Brasil” existen evidencias de suelos con altos contenidos de carbonato de calcio, caracterizados por pH en agua, superiores en algunos casos a 8.0 unidades, en que se manifiestan las deficiencias de hierro o “clorosis férrica” por el antagonismo antes mencionado.

Tabla 6. Coeficientes de correlación para los microelementos asimilables y las propiedades químicas en suelos del Grupo 2 de naturaleza arcillosa.

Variables	Fe	Mn	Cu	Zn	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH <sub>(H2O)</sub>
Fe	1.00	<b>-0.27*</b>	0.06	0.10	0.26	0.30	<b>-0.79*</b>
Mn		1.00	-0.15	-0.12	-0.02	0.17	-0.12
Cu			1.00	0.10	0.04	0.29	0.37
Zn				1.00	<b>0.92*</b>	<b>0.76*</b>	<b>-0.23*</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					1.00	<b>0.91*</b>	-0.47
K <sub>2</sub> O						1.00	-0.44
pH <sub>(H2O)</sub>							1.00

El zinc correlacionó positivamente con los contenidos de fósforo y potasio asimilables, con índices de correlación altos, ( $\geq 0.50$ ) no así con el pH del suelo en que se manifestó antagonismo, que aunque fue una correlación débil ( $\leq 0.30$ ), coincide con los resultados ya citados en este trabajo,

#### Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos permitieron llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Al considerar los valores críticos propuestos por la literatura internacional para la disponibilidad de microelementos en suelos extraídos con EDTA, la distribución geoespacial para los dos grupos de suelos estudiados mostró valores bajos en la mayor parte de las áreas para hierro, cobre y zinc y en menor magnitud el manganeso.
- Se comprueba que las propiedades químicas de los suelos, fundamentalmente el pH, influyen en la disponibilidad de los microelementos.
- Los suelos agrupados por su composición arcillosa, tienen un comportamiento diferenciado en cuanto a la concentración de algunos microelementos.
- Los resultados obtenidos en este trabajo permiten caracterizar la situación del abastecimiento de un grupo de micronutrientes esenciales, así como algunas relaciones antagónicas o sinérgicas entre ellos y otras propiedades en los principales suelos de la Empresa Agroindustrial Azucarera "Brasil".
- Se recomienda continuar el estudio de los contenidos asimilables en suelos plantados con caña de azúcar para determinar rangos de valores por microelementos y suelos
- Evaluar las propiedades químicas que influyen en la variabilidad y disponibilidad de cada microelemento, así como extender el estudio a otras empresas agroindustriales azucareras de la provincia de Camagüey.

#### Referencias bibliograficas

- Arzola, N.C., Machado, J. y Contreras, Vilma. (2013): Estudio de micro-elementos en áreas agrícolas del cultivo de la caña de azúcar en Ecuador. Revista Centro Agrícola 40(4):37-41; octubre-diciembre. ISSN papel: 0253-5785
- Ballabh, K., Rana D. K. and Rawat S. S. (2013): Effects of foliar application of micronutrients on growth, yield and quality of onion. Indian J. Hort., 70 (2): pp 260-265.
- Bennett, H. H., Allison, R. V. (1928): Los Suelos de Cuba. Comisión Nacional Cubana de la UNESCO. La Habana, (1962), 380 p.
- Bergmann, W.; P. Neubert (1976): (Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. Gustav Fischer Verlag, Jena 1976, 475 p.
- Cabalceta, G., Molina, E. (2006): Niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica, utilizando la solución extractora Mehlich-3. Agronomía Costarricense, 30 (2): 31-41
- Cairo, C. P, Fundora, H.O. (2005): Edafología. Editorial Félix Varela. La Habana. Segunda Edición. ISBN 959-258-336-6. 475 pp.
- 5-Carretero, R., Marasas, P.A, Souza, E. y Rocha, A. (2016): Conceptos de utilidad para lograr un correcto muestreo de suelos. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. 21:1-11
- Castellano, D. (1991): Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. 75 p.
- Companioni, N. (1981): Formas de los compuestos de los microelementos de la República de Cuba donde se cultiva la caña de azúcar”. Tesis Doctoral en Ciencias Agrícolas. Academia de Ciencias Agrícolas, V. I. Lenin, URSS, 198 pp
- Hernández, S. R. (2003): Metodología de la Investigación. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba. 474 p.
- INICA (1990): Manual de Normas y Procedimientos para la Conducción de Experimentos de Campo. Ediciones Publicina. Tomo I pp18-28,
- Instituto de Suelos. (1975). Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, 28 pp.
- McCray, M. y Mylavarapu, R, (2020): Sugarcane Nutrient Management Using Leaf Analysis. SS-335. Agronomy Department, UF/IFAS Everglades Research and Education Center, Department of Soil and Water Sciences; pp1-4
- Mortvedt, J.; F Cox; L Shuman & Welch R. (1991): Micronutrients in agriculture. 2nd Ed. SSSA, Madison, EEUU. 760 pp
- Muñiz, O. O., Faloh, B. R. (1983): Los microelementos en la agricultura cubana. 1ra Reunión Nacional de Agroquímica. La Habana, 70 pp.
- Parajón, M.C. A. y Martínez, P.R. Márquez, J. (2013): Evaluación de la potencialidad de suelos en sistemas productivos agrícolas, en dos fincas, comunidad “El Bálsamo”, Matagalpa, Honduras. 155 pp
- Rodríguez, N.F, (2014): Micro-nutrientes, en agricultura de altos rendimientos. Curso “Manejo de los micronutrientes en cultivos de altos rendimientos) INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura). Guanajuato, México pp 1-4
- Quintero, R. D. (1995): Fertilización y nutrición. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. CENICAÑA. Cali, pp 153-177.

- Rojo, A. J. M. (2007): Regresión lineal múltiple. Instituto de Economía y Geografía. Madrid. 31 pp.
- Torri, S., A. S., Urricariet, R. Lavado. (2015): Microelementos y Elementos Trazas. En Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Balcárcel. Segunda Edición–INTA-IPNI: García, F. O., Echeverría H., eds. pp.189-203. <https://www.researchgate.net/publication/283492275>.
- Villegas, R., de León, M. E., Fernández, E. A., Menéndez, A, Cabrera, A., Pérez, M. (2007): Manual de Procedimientos del Servicio de Recomendación de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE. Editorial: Publinica. INICA Cuba. 44 p
- Warrick, A.W., Nielsen, D.R. (1980):: Spatial variability of soil physical of 2017 properties in the field. In: Hillel, D. (ed.). Applications of Soil Physics. New York, Academic Press. 350 pp