# Fracciones Químicas de Micronutrimentos en el Suelo en un Agroecosistema de Caña de Azúcar[1]

*O. Vallejo-Torres*[*]; *D. López-Hernández*[**]

ABSTRACT

**The chemical fractionation of Zn, Cu, Mn and Fe in a Mollisol (Typic Haplaquoll) cultivated with sugar cane, located in Yaracuy, Ven., was studied. Although total micronutrient contents were above average, easily available fractions (water soluble and exchangeable) represented only 0.01% - 0.5% of total content. Residual forms, on the other hand, represented the major fraction (59% - 88%). DTPA values for Cu, Mn and Fe were high, although Zn DTPA were at critical limits. In general, fertilization with micronutrients (Zn, Cu and Mn) did not significantly increase labile forms (exchangeable and specific - adsorbed) due to adsorption processes in the carbonatic soil matrix. Organic and oxid forms acted as a sink for added micronutrient fertilizer.**

RESUMEN

**Se investigaron las fracciones químicas de Zn, Cu, Mn y Fe de un suelo Mollisol (Typic Haplaquoll) cultivado con caña de azúcar del estado Yaracuy, Ven. El contenido total de micronutrimentos se determinó por encima de los promedios reportados en la literatura; no obstante, la fracción fácilmente disponible (soluble en agua e intercambiable) representó sólo entre el 0.01% y 0.5% del total. La mayor proporción encontrada de los micronutrimentos fue residual (59% - 88%). De acuerdo a la prueba del DTPA, los valores de disponibilidad del Cu, Mn y Fe se consideraron altos, aunque el Zn se encontró en los límites críticos. Debido a la matriz carbonática, en general, la fertilización con micronutrimentos no incrementó significativamente las formas más lábiles (intercambiable y específicamente adsorbida), y las fracciones de micronutrimentos correspondientes a óxidos y ligandos orgánicos actuaron como sumidero de estos fertilizantes.**

**Palabras claves: Formas químicas, Zn, Fe, Mn, Cu, disponibilidad, fertilización.**

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de micronutrimentos para las plantas está relacionada con los niveles presentes de ciertas fracciones en equilibrio con la solución del suelo y la velocidad con que son renovados en dicha solución, una vez que se agotan (Cox y Kamprath 1972). Se ha logrado un mejor conocimiento de las formas y comportamiento de los micronutrimentos en el suelo mediante el concepto de "pool" (Viets 1962) y la aplicación de técnicas o esquemas de fraccionamiento.

Mediante la extracción secuencial con agentes extractores específicos, las diversas fracciones de cada micronutrimento se pueden separar y definir (Hodgson 1963; Shuman 1986). Sin embargo, estos procesos se pueden dificultar debido a las cantidades reducidas de algunas fracciones en el suelo (López-Hernández *et al.* 1986), la no selectividad de los extractantes, la redistribución de los elementos entre las diferentes fases durante la extracción y la precipitación, y otras posibles reacciones colaterales de los nutrimentos solubilizados con los residuos del suelo (García-Miragaya 1984; Guy *et al.* 1978; Kheboian y Bauer 1987; Rendell *et al.* 1980).

Los esquemas de fraccionamiento generan valiosa información sobre el comportamiento biogeoquímico de los elementos; así, la tasa de distribución entre los diferentes compartimientos del ecosistema está en alto grado asociada con la velocidad con que el elemento es transferido de formas poco disponibles a más disponibles (López-Hernández *et al.* 1986).

---

1 Recibido para publicar el 13 de febrero de 1990.

* Universidad Ezequiel Zamora "Unellez" Guanare, Edo. Portuguesa, Ven.

** Laboratorio de Estudios Ambientales, IZT, Facultad de Ciencias. Univesidad Central de Venezuela, Apdo. 47058, Caracas 1041, Ven.

Entre los estudios realizados en El Valle del Río Yaracuy, Ven., con el fin de identificar las posibles causas de la merma en los niveles de producción de la caña de azúcar y establecer las medidas necesarias para mejorarla, se consideró importante el estudio de los ciclos biogeoquímicos de los micronutrimentos (López-Hernández *et al.* 1993). El conocimiento preciso del estado nutricional del suelo, desde el punto de vista de los micronutrimentos, la manera de presentación de estos elementos en sus formas disponibles, potencialmente disponibles y no disponibles, así como la interrelación existente entre estas formas, tienen gran importancia en la predicción de los cambios de fertilidad del pedón debido a la actividad agrícola; también, para establecer modelos conceptuales del comportamiento de estos nutrimentos en agroecosistemas.

En este trabajo se presentan los resultados del fraccionamiento químico del Zn, Cu, Mn y Fe en el suelo de un agroecosistema de caña de azúcar del Valle del Río Yaracuy.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un área experimental en la Hacienda Santa Fe, entre los poblados de Farriar y Palmarejo, en Yaracuy, entre las coordenadas geográficas de 10° 29' N y 68° 34' O. Detalles sobre las características climáticas, geomorfológicas y edafológicas del área han sido descritas anteriormente (Sequera *et al.* 1984; Vallejo y López 1988).

Se tomaron al azar 40 muestras de suelo (0 cm - 30 cm de profundidad) en un área de 1200 m² dividida en cuatro parcelas de 300 m² cada una (20 m x 15 m). En el momento del muestreo, dos parcelas estaban sembradas con cañas de la segunda soca de cuatro meses de edad de la variedad PR 1028 y dos con la V 58-4. Estas variedades son ampliamente cultivadas en la zona, tanto por su tolerancia a algunas plagas y enfermedades como por su adaptación a las condiciones climáticas.

Luego de retirar las raíces y restos vegetales, las muestras de suelo se secaron al aire, se homogeneizaron y se pasaron a través de un tamiz de acero inoxidable de 2 mm de malla. Se utilizó el método del cuarteo para formar muestras compuestas representativas del área de estudio. En general, se tomaron todas las precauciones para evitar la contaminación de las muestras.

Las parcelas antes del muestreo fueron fertilizadas empleando 500 kg/ha de úrea, 50 kg/ha de superfosfato triple y 100 kg/ha de cloruro de potasio (Sequera *et al.* 1984). La información recabada revela que en la Hacienda Santa Fe se cultiva caña de azúcar desde hace más de 20 años y, durante ese tiempo, no se aplicó fertilización con micronutrimentos. Tampoco durante la experimentación se utilizaron enmiendas con esos elementos. En esta zona, es común el uso de la quema pre- y poscosecha y la aplicación de agroquímicos, especialmente para contrarrestar el ataque de "candelilla" (*Aeneolamia* spp., Homóptera: Cercopidae) y de malezas. En el Cuadro 1 se muestran algunas características generales del suelo bajo estudio.

### Fraccionamiento

El fraccionamiento de los cuatro micronutrimentos (Cu, Zn, Mn y Fe) se realizó en muestras de suelo con el elemento nativo, es decir, sin adición de fertilizante. En el caso de Cu, Zn y Mn se realizó un fraccionamiento en muestras de suelo con el elemento añadido. A 100 g de suelo, colocados en una cápsula de porcelana, se les adicionó, en solución, el

**Cuadro 1. Características generales del suelo bajo estudio.**

| Ubicación taxonómica | pH (KCl) 1:5 | Limo (%) | Arcilla (%) | (%) C | $CaCO_3$ equivalente | CIC mEq/100 g |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Typic Haplaquoll | 7.4 | 65 | 26 | 1.3 | 0.9 | 40.0 |

equivalente a 6 µg/g de Cu, 12 µg/g de Zn y 100 µg/g de Mn, en forma de sulfatos. Estas adiciones corresponden y son equivalentes a dosis de fertilización con micronutrimentos recomendados para varios cultivos.

Las muestras de suelo se incubaron durante 15 días a capacidad de campo mediante la adición de agua desionizada. Durante la incubación, el contenido de humedad fue corregido gravimétricamente. Al finalizar, las muestras fueron secadas al aire, pasadas a través de un tamiz de 2 mm de malla y submuestreadas para realizar el fraccionamiento, el cual, se hizo por duplicado y a una temperatura de 20°C ± 1°C en laboratorio.

Las diferentes fracciones se evaluaron mediante el método propuesto por McLaren y Crawford (1973). Las fracciones evaluadas fueron las correspondientes a las formas solubles en agua e intercambiables (M-CA), formas específicamente adsorbidas (M-AAC), formas asociadas con la materia orgánica (M-PIR), formas asociadas con los óxidos (M-OX) y formas residuales (M-RES); donde M es el micronutrimento (Zn, Cu, Mn ó Fe). Las formas residuales y totales se extrajeron por digestión ácida mediante una mezcla de $HNO_3$, $HClO_4$ y HF concentrados, en relación 2:4:1 (Agemian y Chau 1976). También se usó el método del DTPA (Lindsay y Norvell 1978) para determinar los cambios en la disponibilidad, causados por la adición de micronutrimentos al suelo. El análisis de los elementos en los diferentes extractos se realizó por absorción atómica en un aparato Varian Techtron AA6.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los niveles de micronutrimentos en la fracción M-CA (formas químicas fácilmente disponibles) representaron un porcentaje bastante bajo del total (Cuadro 3). La concentración de Zn: 0.57 µg/g; Cu: 0.29 µg/g y Fe: 5.1 µg/g (Cuadro 2), en la fracción fácilmente disponible, es mayor que la concentración de la fracción reportada para suelos con reacción alcalina (Elsokkary 1979; Iyengar y Deb 1977; Mclaren y

**Cuadro 2. Distribución de Zn, Cu, Mn y Fe en las diferentes fracciones del suelo con y sin adición del elemento. Media ± (Desviación estándar). Valores en µg/g.**

| | | Fracciones del suelo | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Elemento | Tratamiento | M-CA | M-AAC | M-PIR | M-OX | M-RES |
| Zn | 0 | 0.57a | 1.37a | 6.90 | 16.50 | 183.0 |
| | 1 | (0.04) | (0.03) | (0.04) | (0.5) | (7.2) |
| | | 0.27a | 2.00a | 6.1 | 16.5 | 201.5 |
| | | (0.01) | (0.25) | (0.63) | (0.3) | (10.7) |
| Cu | 0 | 0.29 | 0.71 | 8.7 | 14.6a | 34.2 |
| | 1 | (0.13) | (0.09) | (0.7) | (0.4) | (4.9) |
| | | 0.30 | 1.13 | 9.26 | 16.5a | 40.0 |
| | | (0.09) | (0.25) | (0.3) | (0.2) | (0.3) |
| Mn | 0 | 3.2a | 52.0 | 40.1a | 174.4a | 492.0 |
| | 1 | (0.2) | (0.8) | (4.4) | (0.5) | (5.6) |
| | | 0.07a | 50.1 | 87.7a | 208.9a | 410.2 |
| | | (0.1) | (1.8) | (4.9) | (3.1) | (8.0) |
| Fe | 0 | 5.1 | 15.0 | 1232.5 | 8371.5 | 37351.0 |
| | | (3.3) | (0.4) | (2.1) | (547.7) | (46.6) |

M = micronutrimento (Zn, Cu, Mn ó Fe).
Tratamiento 0 y 1: Suelo con el elemento nativo y con adición respectivamente.
N = dos réplicas. Valores con letras iguales son significativamente diferentes.
$P < 0.05$. Prueba estadística, "t" de Student

Crawford 1973). Resalta que en algunos casos los valores en la fracción soluble + intercambiable, reseñados en la literatura para suelos de pH ácido, son menores que los aquí reportados como en el caso del Cu ((Mclaren y Crawford 1973; Mullins *et al.* 1982; Shuman 1979) o similares como en el del Zn (Iyengar y Deb 1977; Iyengar *et al.* 1981). El valor de 5.1 µ/g de Fe para la fracción fácilmente disponible es mayor que los valores encontrados en otros estudios (Kuo *et al.* 1983; Shuman 1985). Sin embargo, el valor obtenido se caracteriza por un alto coeficiente de variación (65%).

Los niveles de Mn (3.2 µg/g) en las formas fácilmente disponibles aquí encontrados, corresponden a los valores más bajos reportados en la literatura para estas fracciones en suelos de pH básico. Una disminución del Mn intercambiable con el aumento del pH ha sido reseñado por varios autores (Shuman 1986; Sims *et al.* 1979). Para algunos suelos se ha detectado poco Mn intercambiable en pH mayores de 5 (Sims 1978).

De acuerdo con lo anterior, y tomando en cuenta la reacción alcalina del suelo en estudio (Cuadro 1), así como la inversa entre la fracción fácilmente disponible y el pH (Mc Bride 1979; Sims 1978) puede considerarse que los niveles de micronutrimentos en esta fracción, excepto del Mn, son altos. Es probable que los valores de micronutrimentos en la fracción CA estén asociados a características particulares del agroecosistema bajo estudio como las altas tasas de fertilización con úrea (500 kg/ha); el pH ácido de las aguas de lluvia (entre 3.5 y 4.5), y las altas tasas de descomposición de la materia orgánica (raíces y hojas de caña y malezas), que introducen condiciones ácidas al suelo y ayudan a la solubilización de micronutrimentos a partir de formas más resistentes (Vallejo-Torres 1988).

Por otro lado, la entrada de micronutrimentos con las aguas de lluvia, que en algunos casos exceden a las salidas del agroecosistema (López-Hernández *et al.* 1993) y la deposición de cenizas con su carga de micronutrimentos durante la quema pre- y poscosecha (Vallejo-Torres *et al.* s f.), podrían estar incidiendo en los valores de las formas fácilmente disponibles reportadas.

De la fracción considerada potencialmente disponible: unidos los sitios orgánicos e inorgánicos (Viets 1962), la mayor proporción la constituyó M-PIR con excepción del Mn (Cuadro 3). Por una parte destaca el alto porcentaje de Cu en la fracción orgánica, lo que evidencia, en concordancia con otros autores, la afinidad de la materia orgánica humificada por este micronutrimento y, por otra, la mayor proporción de Mn unido específicamente a los sitios inorgánicos (Mn-AAC), lo que podría estar relacionado con la matriz arcillosa y carbonática del suelo (McBride 1979; Dhillon *et al.* 1981).

En general se observan diferencias entre la fracción residual y la suma de las otras fracciones. M-RES explicó el 88% para el caso del Zn; 59% del Cu; 60% del Mn y 80% del Fe respecto al contenido total (Cuadro 3). Esto sugiere que la fracción podría considerarse como la forma primaria nativa de los micronutrimentos catiónicos de este suelo. Los resultados corroboraron los obtenidos por otros autores (Barber 1984; McLaren y Crawford 1973; Shuman 1979, 1986) y demuestran que en los suelos la mayor proporción de Zn, Cu, Mn y Fe forma parte de su fracción resistente, es decir, los micronutrimentos

**Cuadro 3. Distribución de Zn, Cu, Mn y Fe entre las diferentes fracciones del suelo como porcentajes del total.**

| | | Fracciones del suelo | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Elemento | Tratamiento | M-CA | M-AAC | M-PIR | M-OX | M-RES |
| Zn | 0 | 0.27 | 0.66 | 3.3 | 7.9 | 87.9 |
| | 1 | 0.12 | 0.88 | 2.7 | 7.3 | 89.0 |
| Cu | 0 | 0.50 | 1.21 | 14.9 | 25.0 | 58.5 |
| | 1 | 0.45 | 1.70 | 13.8 | 24.6 | 59.5 |
| Mn | 0 | 0.48 | 7.8 | 6.0 | 26.0 | 59.9 |
| | 1 | 0.01 | 6.6 | 11.6 | 27.6 | 54.2 |
| Fe | 0 | 0.01 | 0.03 | 2.6 | 17.8 | 79.5 |

atrapados en los minerales primarios y secundarios del suelo (Viets 1962).

Otra forma importante de los micronutrimentos en el suelo, desde el punto de vista del contenido total, la constituyó la fracción unida a los óxidos: Zn-OX 7.8%; Cu-OX 25%; Mn-OX 26% y Fe-OX 18%; las fracciones M-RES y M-OX generalmente no están disponibles para las plantas (Viets 1962). Estas fracciones se excluyen comúnmente cuando se estima la disponibilidad de micronutrimentos catiónicos por medio de soluciones extractoras. No obstante se han encontrado correlaciones positivas entre la absorción de Zn por plantas de maíz (Iyengar *et al.* 1981), arroz (Murthy 1982; Singh y Abrol 1986) y el Zn de las fracciones de los óxidos y residual. De igual manera se ha encontrado una relación positiva entre el Cu unido a los óxidos y la absorción de este elemento por plantas de trigo (Sims 1986).

De lo expuesto anteriormente, se desprende que la contribución de ciertas formas de micronutrimentos en el suelo a la absorción por las plantas, no está totalmente dilucidada. El carácter acuífero, que indica procesos severos de óxido-reducción, y los procesos y factores que introducen condiciones ácidas a este suelo (Vallejo-Torres 1988), podrían determinar una cierta movilización (redistribución) de las formas menos solubles (ocluido, residual, entre otros) hacia las fracciones más solubles del elemento (intercambiable, adsorbido específicamente) haciéndolos más disponibles para las plantas y susceptibles a ser perdidos por lixiviación. No obstante, estos aspectos merecen estudios más detallados para poder ser totalmente comprendidos.

Los valores totales de Zn (208 µg/g), Cu (60.5 µg/g) Mn (666.8 µg/g) y Fe (47 147.5 µg/g) del suelo bajo estudio (Cuadro 4) se encuentran por encima de los promedios indicados para suelos de diferentes áreas de la corteza terrestre (Lindsay 1979). La textura y el contenido de materia orgánica (Cuadro 1) podrían estar determinando estas cantidades ya que la fracción fina de los suelos puede ser rica en micronutrimentos. Las arcillas poseen altas concentraciones de metales debido a los altos niveles adsorbidos y presentes en la red cristalina (Shuman 1985); similarmente, la materia orgánica puede acomplejar estos elementos (Hodgson 1963; Stevenson y Ardakani 1972).

En el Cuadro 2 se resumen los valores de concentración de las diferentes fracciones de micronutrimentos cuando se adicionó el fertilizante. El suelo tratado con Cu presentó ligeros aumentos en todas las fracciones; sin embargo, sólo se encontraron diferencias significativas entre Cu-OX con y sin adición. Para el suelo fertilizado con Zn, la fracción Zn-CA mostró menor valor que en el suelo con el elemento nativo. En la fracción Zn-AAC hubo un aumento al igual que en la fracción residual; pero sólo Zn-CA y Zn-AAC mostraron diferencias estadísticas significativas.

La fracción Mn-CA en muestras con Mn añadido experimentó una disminución considerable. Por otro lado se encontró un aumento significativo de Mn en la fracción orgánica y en la de óxidos, aunque el aumento fue mayor para la fracción Mn-PIR.

La disminución de Zn y Mn, fácilmente disponibles con adición del fertilizante, podría deberse a una

**Cuadro 4. Contenido total de micronutrimentos obtenidos por digestión y fraccionamiento. Valores en µg/g.**

| | Tratamiento | Zn | Cu | Mn | Fe |
|---|---|---|---|---|---|
| Total fraccionamiento | 0 | 208.3 | 58.5 | 671.7 | 46975.0 |
| | 1 | 226.4 | 64.2 | 758.0 | NA |
| Total digestión | 0 | 208.0 | 60.5 | 666.8 | 47174.5 |
| | 1 | 221.5 | 68.7 | 772.0 | NA |
| (%) recuperado en fraccionamiento | 0 | 100.1 | 96.7 | 100.7 | 99.6 |
| | 1 | 102.2 | 93.5 | 98.2 | NA |

0 y 1 ver Cuadro 2. NA, no se adicionó el elemento.

inducción de la actividad microbiana que acumula estos elementos. También es importante la adición mixta de los fertilizantes, que provocó una posible competencia entre estos tres nutrimentos por los sitios de adsorción del complejo de cambio y una posterior redistribución hacia otras fracciones.

En experimentos de retención de micronutrimentos, se ha encontrado reliberación de Mn e hidrogeniones por la adsorción de Zn y Cu, mientras que la adición de Cu impidió la retención de Zn; pero cuando se adicionó este último elemento, la adsorción de Cu no fue afectada (Kurdi y Donner 1983). Podría agregarse que los cambios en el ambiente de óxido-reducción, producidos por la adición regular de agua desionizada para mantener las muestras a capacidad de campo, también contribuyeron a una movilización y redistribución de los nutrimentos bajo estudio.

Las pequeñas dosis añadidas de micronutrimentos aumentaron la disponibilidad de Zn y Cu en los suelos tratados (medidos con DTPA, Cuadro 5); sin embargo, en el caso del Mn se observó una ligera disminución. Este último valor confirma la información presentada en el Cuadro 2, donde se señala una reducción de los niveles de Mn intercambiable como consecuencia de la fertilización con varios micronutrimentos. De acuerdo con la prueba del DTPA los valores de disponibilidad de Cu, Mn y Fe en el suelo con el elemento nativo, se consideraron altos, aunque el Zn se encontró en los límites críticos.

En el Cuadro 4 se muestran los valores de recuperación de Zn, Cu, Mn, y Fe en el fraccionamiento con y sin adición del elemento; además se indica la efectividad del esquema de fraccionamiento utilizado. Estos valores de recuperación concuerdan con los obtenidos para otros suelos (Cottenie *et al.* 1979; Iyengar *et al.* 1981; López-Hernández *et al.* 1986; McLaren y Crawford 1973; Sposito *et al.* 1982).

Los resultados obtenidos en este estudio son de interés práctico. En este suelo la fracción fácilmente disponible de Zn, Cu, Mn y Fe es menor del 0.5% del total e implica que la mayor parte de estos elementos se encuentran en forma no intercambiable. La continua extracción de micronutrimentos por exportación de la caña en la época de la zafra, las salidas por lixiviación (Vallejo-Torres 1988) y dispersión de cenizas durante la quema (Vallejo-Torres *et al.* s.f.) podrían estar agotando paulatinamente esa fracción, sobre todo, si se toma en cuenta que las formas consideradas de reserva (específicamente adsorbidas a los sitios orgánicos e inorgánicos) son igualmente bajas. De hecho, en este suelo, a pesar de poseer alto contenido total de Zn, la disponibilidad del nutrimento, medida con DTPA, estuvo en los límites críticos y experimentó grandes fluctuaciones durante el desarrollo del cultivo (Vallejo-Torres 1988), lo que sugiere una baja reposición del elemento de las formas menos solubles a fracciones más disponibles.

En este agroecosistema no se fertiliza con micronutrimentos, por lo que el cultivo depende de las reservas del suelo y otras entradas tales como micronutrimentos contenidos en las aguas de lluvia, impurezas en los fertilizantes y en las aguas de riego. Dosis de fertilización de mantenimiento con base en balances nutricionales (entradas-salidas) han sido recomendadas para este agroecosistema (Vallejo-Torres 1988). Estas enmiendas, al igual que las entradas antes mencionadas, son bajas y es probable que una alta proporción del elemento, que llega al suelo, quede fuertemente inmovilizado, como sugieren los resultados del fraccionamiento con adición de fertilizante encontrados en este trabajo. Valores de retención máxima medidos con las isotermas de adsorción (Vallejo-Torres 1988), para ser presentados en otra contribución, corroboran estos resultados.

Por último se debe señalar que es necesario realizar estudios más detallados sobre la evaluación de la

**Cuadro 5. Cambios en los niveles de micronutrimentos disponibles (µg/g) en el suelo con el elemento nativo (N = 3) y con adición del fertilizante (N = 2). Media ± (desviación estándar).**

| | Zn | Cu | Mn | Fe |
|---|---|---|---|---|
| Suelo sin fertilizar | 0.84(0.04) | 4.60(0.12) | 5.6(0.24) | 5.20(0.18) |
| Suelo fertilizado | 2.91(0.05) | 5.2(0.05) | 3.9(0.05) | NA |

contribución de cada fracción a la absorción de micronutrimentos por la caña de azúcar, y la importancia para su crecimiento. También sería valioso conocer los cambios que este cultivo produce en las formas de cada micronutrimento del suelo.

## LITERATURA CITADA


AGEMIAN, H.; CHAU, A.S.Y. 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. Analyst 101:761-767.

BARBER, S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. New York, Wiley.

COTTENIE, A.; CAMERLYNCK, R.; VERLOO, M.; DHAESE, A. 1979. Fractionation and determination of trace elements in plants, soils and sediments. Pure Applied Chemistry 52:45-53.

COX, F.R.; KAMPRATH, E.J. 1972. Micronutrient soil test. **In** Micronutrients in agriculture. J.J. Morvedt, P.M. Giordano, W.L. Lindsay (Eds.). Soil Science Society of America Journal 36:289-317.

DHILLON, S.K.; SIDHU, P.S.; SHINA; M.K. 1981. Copper adsorption by alkaline soils. Journal of Soil Science 32:571-578.

ELSOKKARY, I.H. 1979. The chemical fractionation of soil zinc and its specific and total adsorption by Egyptian aluvial soils. Plant and Soil 53:117-129.

GARCIA-MIRAGAYA, J. 1984. Levels, chemical fractionation, and solubility of lead in roadside soils of Caracas, Ven. Soil Science 138(2):147-152.

GUY, R.D.; CHAKRABARTI, C.L.; MCBAIN, D.C. 1978. An evaluation of extraction techniques for the fractionation of copper and lead in model sediment systems. Water Resources Research 12:21-24.

HODGSON, J.F. 1963. Chemistry of micronutrients in soils. Advances in Agronomy 15:119-159.

IYENGAR, S.S., DEB, D.L. 1977. Contribution of zinc fractions to plant uptake and rate of zinc applied to the soil. Journal of the Indian Society of Soil Science 25(4):426-432.

IYENGAR, S.S.; MARTENS, D.C.; MILLER, W.P. 1981. Distribution and plant availability of zinc fractions. Soil Science Society of America Journal 45:735-739.

KHEBOIAN, C.; BAUER, CH.F. 1987. Accuracy of selective extraction procedures for metal speciation in model aquatic sediments. Annals of Chemistry 59(10):1417-1423.

KUO, P.; HEILMAN, P.E.; BAKER, A.S. 1983. Distribution and forms of copper, zinc, cadmium, iron, and manganese in soil near copper smelter. Soil Science 135(2):101-109.

KURDI, F.; DONNER, H.E. 1983. Zinc and copper sorption and interaction in soils. Soil Science Society of America Journal 47:873-876.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal 42:421-428.

LINDSAY, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. New York, Wiley.

LOPEZ-HERNANDEZ, I.D.; HEUDES, J.R.; CARRION, N. 1986. Fraccionamiento de cinc, cobre y cobalto en suelos de banco y estero del módulo experimental de Mantecal. Turrialba (C.R.) 36:(3)395-400.

LOPEZ-HERNANDEZ, D.; MEDINA, E.; INFANTE, C.; SEQUERA, D.; NIÑO, M.; VALLEJO-TORRES, O. 1993. Nutrient cycles in a sugarcane agroecosystem. **In** Soil biota and nutrient cycling farming systems. D. Coleman, W. Foissner, R. Poincelot, M.G. Paoletti (Eds.). Food Products Press. v. 3. (En prensa).

MCBRIDE, M.B. 1979. Chemisorption and precipitation of $Mn^{+2}$ at $CaCO_3$ surfaces. Soil Science Society of America Journal 43:693-698.

MCLAREN, R.G.; CRAWFORD, D.V. 1973. Studies on soil copper. I. The fractionation of copper in soils. Journal of Soil Science 24(2):172-181.

MULLINS, G.L.; MARTENS, D.C.; MILLER, W.P.; KORNEGAY, E.T.; HALLOCK, D.L. 1982. Copper availability, forms and mobility in soil from three annual copper-enriched hog manure applications. Journal of Environmental Quality 11(2):316-320.

MURTHY, A.S.P. 1982. Zinc fractions in wetland rice and their availability to rice. Soil Science 133(3):150-154.

RENDELL, P.S.; BATLEY, G.E.; CAMERON, A.J. 1980. Adsorption as a control of metal concentrations in sediments extracts. Environment Science Technology 14:314-318.

SEQUERA, P.E.; LOPEZ-HERNANDEZ, I.D.; MEDINA, E. 1984. La producción de caña de azúcar en el Valle del Río Yaracuy. Unión de Productores de Azúcar de Venezuela. Caracas, Ven., Edicanpa.

SHUMAN, L.M. 1979. Zinc, manganese, and copper in soil fractions. Soil Science 127(1):10-17.

SHUMAN, L.M. 1985. Fractionation method for soil microelements. Soil Science 140(1):11-22.

SHUMAN, L.M. 1986. Effect of liming on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc among soil fractions. Soil Science Society of America Journal 50:1236-1240.

SIMS, J.L. 1978. Soil pH effects on the distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. Soil Science Society of America Journal 42:258-262.

SIMS, J.L.; DUANGPATRA, P.; ELLIS, J.H.; PHILLIPS, R.E. 1979. Distribution of available manganese in Kentucky soils. Soil Science 27(5):270-274.

SIMS, J.T. 1986. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, and zinc. Soil Science Society of America Journal 50:367-373.

SINGH, M.V.; ABROL, I.P. 1986. Transformation and movement of zinc in an alkali soil and their influence on the yield and uptake of zinc by rice and wheat crops. Plant and Soil 94:445-449.

SPOSITO, G.; LUND, L.J.; CHANG, A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge. I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal 46:260-264.

STEVENSON, F.J.; ARDAKANI, M.S. 1972. Organic matter involving micronutrients in soils. **In** Micronutrients in agriculture. J.J. Morvedt, P.M. Giordano, W.L. Lindsay (Eds.). Soil Science Society of America Journal. p. 79-114.

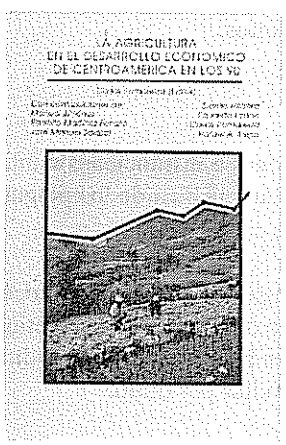
VALLEJO-TORRES, O. 1988. Ciclaje de micronutrientes (Zn, Cu, Mn y Fe) en un agroecosistema de caña de azúcar. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.

VALLEJO-TORRES, O.; LOPEZ-HERNANDEZ, D. 1988. Variabilidad en el contenido de micronutrientes para suelos cultivados con caña de azúcar. Ciencia del Suelo 6(1):37-43.

VALLEJO-TORRES, O.; LOPEZ-HERNANDEZ, D.; MEDINA, M. s.f. Aportes de micronutrimentos por cenizas en un agroecosistema de caña de azúcar. (En preparación).

VIETS, F.G. 1962. Chemistry and availability of micronutrients. Journal of Agriculture and Food Chemistry 10:174-178.

**LIBRO RECOMENDADO**




***La Agricultura en el Desarrollo Económico de Centroamérica en los 90. IICA. C. Pomareda (Ed.). 1992. 202 p. ISBN 92-9039-203 7.***

**Este libro compendia diversos trabajos realizados por destacados profesionales de las ciencias agrícolas, y constituye una valiosa contribución técnica a los esfuerzos de los países centroamericanos por lograr la consolidación de un modelo de desarrollo en el contexto internacional. Dichos trabajos tratan temas de gran interés socio-político y económico, tales como las relaciones intersectoriales en la agricultura, los elementos básicos de una estrategia de modernización agroindustrial y el comercio intrarregional de productos agropecuarios.**

**US$10.00**

**Ver lista de publicaciones disponibles para la venta y boleta de solicitud en la última sección de la revista Turrialba.**