

AGRONOMIA

DISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIENTES EN CINCO SUELOS DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO SUAREZ (SANTANDER Y BOYACA)

Luis Ernesto Castillo P.; Rodrigo Lora S.*

RESUMEN

En condiciones de invernadero, utilizando sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench) híbrido HR-1 Tolima como planta indicadora, se desarrolló en 1985 una investigación básica en Tibaitatá (Cundinamarca) para evaluar la disponibilidad de micronutrientes en cinco suelos clasificados como Vertic Eutropept, Typic Argiudoll, Oxic Dystropept, Aquic Humitropept y Typic Eutropept, pertenecientes a las áreas de mayor potencial agrícola para producción de caña panelera en la región estudiada. El análisis del contenido total de micronutrientes, efectuado mediante el método de fusión con carbonato de sodio, mostró en general una adecuada reserva de B, Fe, Cu, Mn, Mo y Zn. El contenido disponible de Cu, Fe, Mn y Zn fue extraído con las soluciones de EDTA 0.01M + NaHCO₃ 0.5M; HCl 0.05N + H₂SO₄ 0.025N y EDTA 0.05M. Para el B disponible se empleó una solución de Ca(H₂PO₄)₂.H₂O 0.008M. El Mo se extrajo con oxalato de amonio a pH 3.3 (Solución Tamm). Tomando como referencia para interpretar los niveles críticos reportados por Hunter, Cox, Kamprath y otros para los métodos estudiados, se determinó que el contenido disponible de los micronutrientes analizados es suficiente a nivel general. En el ensayo biológico de invernadero se halló respuesta positiva y significativa en rendimiento de materia seca del sorgo a la aplicación de 2.4 kg/ha de Cu, 2.0 y 6.0 kg/ha de Zn y 1.2 kg/ha de B. Los coeficientes de correlación entre la concentración de los micronutrientes disponibles en el suelo y la concentración en la planta fueron positivos y altamente significativos para el Cu, Mn y Zn, usando como extractante EDTA 0.01M + NaHCO₃ 0.5M. Para el Fe se obtuvo el mismo grado de correlación con los extractantes EDTA 0.05M y HCl 0.05N + H₂SO₄ 0.025N. Para el B y Mo disponibles los coeficientes de correlación fueron positivos y significativos usando, respectivamente, los métodos de fosfato monocalcico y solución Tamm.

Palabras Claves Adicionales: Micronutrientes totales, micronutrientes disponibles, métodos analíticos, fertilización con micronutrientes.

ABSTRACT

Micronutrients Availability in Five Soils from Middle Basin of the Suárez River (Santander and Boyacá)

A basic research was carried out through a biological greenhouse experiment by using sorghum (*Sorghum vulgare* L. Moench)HR-1 Tolima hybrid, as indicator plant in order to value the micronutrients availability in five soils classified as Vertic Eutropept, Typic Argiudoll, Oxic Dystropept, Aquic Humitropept y Typic Eutropept.

* Agrólogo, M.S., Director Laboratorio de Suelos Centro Nacional de Investigación Palmira. A.A. 233, Palmira, e Ingeniero Químico, M.S., Director Laboratorio de Suelos, Centro Nacional de Investigación Tibaitatá. A.A. 151123 (El Dorado), Bogotá.

These soils belong to agricultural zones with great potential for brown sugar cane production. The total content of micronutrients was determined by fusion method, using sodium carbonate. The results showed adequate reserves of B, Cu, Fe, Mn, Mo and Zn in all soils. The available content of Cu, Fe, Mn and Zn was extracted with three solutions: HCl 0.05N + H₂SO₄ 0.025N; EDTA 0.05M to pH 9.0 and EDTA 0.01M + NaHCO₃ 0.5M. The Mo was extracted with Tamm solution (ammonium oxalate to pH 3.3) and the B with Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 0.008M solution. In general, the available amount of micronutrients in all soils can be considered as adequate, according to Hunter, Cox and Kamprath criteria. Positive and significant response on dry matter of sorghum was found with 2.4 kg/ha of Cu, 2.0 and 6.0 kg/ha of Zn and 1.2 kg/ha of B. The concentration of Cu, Mn and Zn extracted with EDTA 0.01M + NaHCO₃ 0.5M solution showed positive and highly significant correlation with their concentration in the sorghum. Equal correlation was found for Fe extracted B with Ca(H₂PO₄)₂·H₂O 0.008M solution correlated positive and significantly with the plant B content for all soils, a positive and highly significant correlation was found. The same correlation was obtained for Mo with the oxalate ammonium solution.

Additional Index Words: Total micronutrients, available micronutrients, analytical methods, fertilization with micronutrients.

Durante la última década (1972-1982) se han incrementado las investigaciones sobre disponibilidad de micronutrientes en suelos del país, lo cual ha contribuido a su mayor uso como fertilizante, especialmente en cultivos comerciales, en los cuales la introducción de nuevas variedades e híbridos de alto rendimiento ha demandado avances tecnológicos en el manejo y uso de los micronutrientes.

En Colombia, las investigaciones sobre caracterización, métodos de extracción de micronutrientes y su correlación con los requerimientos de los cultivos, han sido desarrolladas en su mayoría bajo condiciones de invernadero, con resultados variables según la región geográfica estudiada.

Villar (29), en un estudio bajo condiciones de invernadero en suelos tabacaleros de Santander, utilizando girasol (*Helianthus annuus* var. Fransol), encontró que los contenidos disponibles de Fe, Cu, Mn, Zn, Mo y B se consideran adecuados para satisfacer las necesidades de los cultivos de la región. Concluyó, además, que el mejor extractante para Fe, Cu y Zn fue la solución a base de NaHCO₃ y EDTA; para B, fue la solución de fosfato monocálcico y para Mo, la solución Tamm (Oxalato de amonio a pH 3.3).

Ruíz y García (26), en un estudio de suelos de Santander de Quilichao, Mondomo y Pien-damó (Cauca), reportan respuesta positiva y sig-

nificativa en producción de materia seca de plantas de kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides*), cuando se aplicaron al suelo 10 kg/ha de Cu; no encontraron respuesta a los demás micronutrientes.

La deficiencia de boro se ha encontrado en suelos del Valle del Cauca, Boyacá, Cundinamarca y Llanos Orientales; en estas zonas la deficiencia se ha manifestado en cultivos como papa (*Solanum tuberosum* L.), manzana (*malus communis* L.), durazno (*Prunus persica* L.), pera (*Pirus communis* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench), cítricos (*Citrus* sp.), palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) (5).

Camelo et al.(5), en una investigación de invernadero con 52 suelos de diversas regiones del país, establecieron correlación positiva y altamente significativa entre el B absorbido por plantas de girasol (*Helianthus annuus* var. Fransol) y el B extraído después de la cosecha con los extractantes de agua caliente y fosfato monocálcico 0.008M (3, 13).

Guerrero y Burbano (9) constataron que una alta proporción de suelos volcánicos andinos del sur de Colombia son potencialmente deficientes en Mo, Cu, Co y Zn, en tanto que los niveles de disponibilidad de Fe y Mn son altos.

Molina y Frye (22) reportan deficiencia de uno o varios elementos menores en las zonas algodo-

neras del país y consideran como método promisorio para los análisis de rutina de Fe, Cu, Mn y Zn el que utiliza la solución de DTPA-CaCl₂-TEA (pH 7.3) (18,20).

Agreda et al (1) encontraron que los contenidos de B disponible en suelos de la Llanura del Pacífico son bajos y que pueden afectar especialmente a cultivos de palma africana y cocotero; los de Cu, Fe y Zn son adecuados y los de Mn los consideran potencialmente bajos.

Brugés (4) realizó una evaluación general de los micronutrientes en la Estación Experimental Caribia (Magdalena) utilizando dos extractantes (Carolina del Norte y DTPA) y halló correlación significativamente positiva entre los micronutrientes absorbidos por plantas de pasto manawa (*Lolium multiflorum* x *Lolium perenne*) y maíz (*Zea mays* L.) y los micronutrientes del suelo, en invernadero y campo, respectivamente.

En un estudio similar realizado por Ortega (25), con varias series de suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá encontró que el extractante a base de EDTA + NaHCO₃ correlacionó mejor con los micronutrientes extraídos por plantas de avena (*Avena sativa* L.), que la solución de DTPA.

Con base en las características químicas y granulométricas de los suelos que componen el área de estudio, se plantea la hipótesis de que pueden ser deficientes en algunos de los micronutrientes esenciales para las plantas, por lo cual se hace necesario evaluar la disponibilidad de los mismos en una fase inicial de invernadero, cuyos resultados servirán de guía para futuras investigaciones en el campo. Estos suelos presentan pH cercano a la neutralidad, altas saturaciones de Ca y, en algunos casos, presencia de carbonatos libres, y en cuanto a características físicas conocidas, muestran dominancia de texturas arcillosas (6). En estas condiciones la solubilidad del Fe, Cu, Zn y Mn tiende a reducirse, incrementándose las deficiencias en la medida en que el pH se ubica dentro del rango alcalino (21).

Para la realización del presente trabajo se plantearon dos objetivos principales:

- 1) Determinar el contenido total y disponible de los micronutrientes: Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Boro (B) y Molibdeno (Mo) en cinco suelos de la cuenca media del río Suárez.
- 2) Evaluar el efecto de los micronutrientes aplicados sobre el rendimiento de materia seca y absorción de los mismos por plantas de sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench) híbrido Tolima HR-1, en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y METODOS

Generalidades sobre la zona de estudio

La cuenca media del río Suárez forma parte de la vertiente occidental de la cordillera Oriental y representa una extensa región agrícola de los departamentos de Santander y Boyacá, que incluye aproximadamente 109.700 ha dentro del piso térmico medio, que son dedicadas en su mayoría a cultivos de caña de azúcar para panela, café, maíz, yuca, frijol, frutales y algunas áreas ganaderas (15).

La zona de estudio se limitó a las áreas de mayor potencial agrícola en producción de caña de azúcar para panela de los municipios de Barbosa y Güepsa (Santander) y Santana (Boyacá), que son las más importantes para el ingenio panelero "Hoya del río Suárez".

Geológicamente la región está constituida por rocas sedimentarias, principalmente lutitas ferruginosas, intercaladas con areniscas de grano fino con matriz arcillosa y afloramientos locales de caliza masiva del cretáceo inferior y superior. Del cuaternario se encuentran depósitos aluviales transportados por el río Suárez y depósitos coluviales que aparecen en las laderas (7).

En cuanto al clima, la precipitación varía entre 1.700 y 2.000 mm anuales y la temperatura media anual registrada es de 22°C. Por lo tanto, esta zona se incluye dentro de la formación "Bosque húmedo premontano" (Bh-PM) (7).

Suelos

Se estudiaron los suelos de cinco paisajes fisiográficos de los municipios de Barbosa y Güepa (Santander) y Santana (Boyacá). De cada paisaje se tomaron muestras en diferentes sitios a profundidad de 0-25 cm, las cuales fueron bien mezcladas para obtener una gran muestra destinada a los ensayos de invernadero.

Además, se describieron perfiles modales para establecer la clasificación taxonómica de los suelos, tal como aparece en la Tabla 1. La textura y algunas características químicas están contenidas en la Tabla 2.

Textura: En los cinco suelos la arcilla constituye la fracción de mayor proporción en el componente textural, lo cual es explicable por ser derivados de materiales sedimentarios de grano fino.

1. Algunos aspectos relacionados con la identificación de los suelos bajo estudio.

Localidad	Paisaje fisiográfico	Rango de altitud m.s.n.m.	Material parental	Clasificación taxonómica
Güepa	Ladera estructural coluvial	1372-1412	Lutitas y calizas entremezcladas	Vertic Eutropept
Güepa	Ladera estructural coluvial	1315-1355	Arenisca de grano fino y caliza	Typic Argiudoll
Güepa	Ladera coluvio erosional	1490-1525	Areniscas y lutitas intercaladas	Oxic Dystropept
Barbosa	Depresión coluvio erosional	1495-1550	Lutitas y areniscas entremezcladas	Aquic Humitropept
Santana	Ladera coluvio erosional	1258-1291	Areniscas y lutitas entremezcladas	Typic Eutropept

TABLA 2. Textura y características químicas de cinco suelos de la cuenca media del río Suárez.

Características	Suelos				
	Vertic Eutropept	Typic Argiudoll	Oxic Dystropept	Aquic Humitropept	Typic Eutropept
% Arcilla	48,4	50,4	34,4	38,4	34,4
% Limo	30,0	30,0	32,6	34,6	32,0
% Arena	21,6	19,6	33,0	27,0	33,6
Textura	Ar*	Ar	FAr	FAr	FAr
pH	6,3	6,8	5,3	5,8	6,9
Materia orgánica (%)	6,0	5,3	3,5	6,2	5,4
P (ppm)	11,0	9,0	6,0	4,0	8,0
Al (meq/100 mL)	0,3	0,2	0,6	0,4	0,1
Ca (meq/100 mL)	23,4	30,1	11,2	18,0	28,0
Mg (meq/100 mL)	1,2	0,7	0,5	0,7	0,4
K (meq/100 mL)	0,28	0,32	0,24	0,22	0,23
Na (meq/100 mL)	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3
CIC (meq/100 mL)	23,4	28,8	16,3	19,8	18,0
Suma de bases (meq/100 mL)	25,08	31,32	12,04	19,12	28,93
Ca/Mg	19,5	43,0	22,4	25,7	70,0
Ca + Mg/K	87,9	96,3	48,8	85,0	123,5
S-extractable (ppm)	18,0	11,3	8,6	9,4	8,7
CO ₃ ⁼⁼ (prueba cualit.)	+ (ligera)	++ (moderada)	- (no hay)	- (no hay)	+++ (fuerte)

* Ar = Arcillosa; FAr = Franco arcillosa.

pH: El rango de variación es de 5.3 a 6.9, el cual se considera adecuado para la disponibilidad de la mayoría de los micronutrientes para la planta.

Materia orgánica: Con excepción del Oxic Dystropept que presenta un contenido medio de materia orgánica, en los demás suelos es alta, por encima del 5% para el piso térmico medio (14).

Fósforo: En los cinco suelos el contenido de P aprovechable es bajo (menor de 15 ppm).

Potasio (K) aprovechable: El contenido de K aprovechable está en el nivel medio (0.20 – 0.40 meq/100g). Por su parte, la relación Ca + Mg/K es amplia en todos los suelos, lo cual afecta la disponibilidad de K para las plantas (14).

Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) intercambiables: Todos los suelos presentan altos contenidos de Ca y bajos de Mg. Además, la relación Ca/Mg es muy amplia en todos los suelos, lo cual es indicativo de posibles deficiencias de Mg (14).

Azufre (S) extractable: Se observa que con excepción del Vertic Eutropept, los demás suelos presentan valores de S extractable (sulfatos solubles + adsorbidos) por debajo o ligeramente superiores al nivel crítico de 10 ppm establecido en primera aproximación para el método de extracción con fosfato monocálcico (10).

Métodos Analíticos

Para obtener los resultados de la Tabla 2, las diferentes determinaciones se efectuaron siguiendo los procedimientos analíticos empleados por el ICA (13).

Se determinó el contenido total de micronutrientes por el método de fusión con carbonato de sodio (16) y posterior cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica para los elementos Cu, Fe, Mn, Zn y Mo y colorimétricamente para el B.

Para la determinación de Cu, Fe, Mn y Zn disponibles se emplearon tres extractantes:

- a) Solución de EDTA 0.05M ajustada a pH 9.0 (17, 30).

- b) Solución NaHCO_3 0.5 M y EDTA 0.01M ajustada a pH 8.5 (12).
- c) Solución de HCl 0.05N + H_2SO_4 0.025N (28).

Para el B se empleó el método de extracción con fosfato monocálcico 0.008M (12) y para el molibdeno, la solución Tamm (24).

Al material vegetal cosechado se le efectuaron las siguientes determinaciones: Cu, Fe, Mn, Zn y Mo totales por la técnica de digestión por vía humedad descrita por Hunter (2) y posterior cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica y el contenido total de B, mediante calcinación a 550°C y posterior cuantificación colorimétrica de las cenizas, utilizando Azometina-H (11).

Ensayo de Invernadero

El ensayo biológico de invernadero se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá, situado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca) a 2.640 m.s.n.m. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 20 tratamientos y tres replicaciones.

Se probaron tres niveles de cada micronutriente en la siguiente forma: 4.0, 8.0 y 12.0 kg/ha de Fe como quelato del ácido fenólico del 60% de Fe; 6.0, 12.0 y 18.0 kg/ha de Mn como quelato de $\text{Na}_2\text{Mn-EDTA}$ del 12% de Mn; 0.8, 1.6 y 2.4 kg/ha de Cu a partir de $\text{Na}_2\text{Cu-EDTA}$ del 13% de Cu; 2.0, 4.0 y 6.0 kg/ha de Zn en forma de $\text{Na}_2\text{Zn-EDTA}$ del 14.2% de Zn; 0.6, 1.2 y 1.8 kg/ha de B como tetraboro de sodio y para molibdeno, 0.5, 1.0 y 1.5 kg/ha de molibdato de sodio. Además de los tratamientos mencionados, se incluyeron un testigo absoluto y un testigo a elementos menores. Todos los compuestos se aplicaron en el momento de la siembra.

Todos los suelos, excepto el testigo absoluto, recibieron como fertilización básica 75 kg/ha de N, 75 kg/ha de P_2O_5 , 60 kg/ha de K_2O , 40 kg/ha de S en forma de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y tres aspersiones foliares de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ al 0.5%, a los 15, 25 y 35 días después de la germinación.

Se utilizó como planta indicadora el sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench) híbrido HR-1 Tolima. La cosecha se realizó 60 días después de la siembra.

Métodos Estadísticos

Para evaluar el efecto de los micronutrientes aplicados sobre la producción de materia seca del sorgo se utilizó el análisis de varianza y las pruebas de Duncan. Mediante el análisis de regresión se determinó el efecto de los tratamientos aplicados sobre la concentración de los micronutrientes por la planta y para evaluar las técnicas de extracción de elementos menores se empleó el análisis de correlación entre la cantidad del nutrimento extraído del suelo y la concentración en la planta.

RESULTADOS Y DISCUSION

Contenidos Totales de B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn

En general, los contenidos totales de micronutrientes encontrados (Tabla 3) están dentro del rango obtenido o estimado por diferentes investigadores para otras regiones del mundo o del país (23, 25, 27, 29), y se consideran suficientes como reserva a largo plazo para satisfacer los requerimientos de los cultivos de la región. Sin embargo, se debe considerar que el contenido disponible en el suelo, la exigencia específica de cada especie vegetal y los factores químicos, físicos y microbiológicos que intervienen en la liberación de formas aprovechables para las plantas son aspectos de mayor peso que la cantidad total del elemento, para decidir si es o no necesario aplicar un determinado micronutriente a un cultivo.

Contenidos Disponibles de B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn

En la Tabla 4 se observa el contenido inicial de micronutrientes disponibles en los cinco suelos para cada extractante utilizado. De acuerdo con Lora (19), los contenidos de B encontrados están dentro del nivel medio de disponibilidad, cuyo intervalo es de 0.20-0.60 ppm para el método de extracción con fosfato monocálcico 0.008M.

En general, en todos los suelos los mayores contenidos de Cu y Fe disponibles fueron extraídos con la solución de EDTA 0.05M y los menores, con la solución de doble ácido de Carolina del Norte. La mayor cantidad de Cu y Fe extraídos con EDTA 0.05M se explica por la capacidad que tiene el EDTA de complejar Cu_{++} y Fe_{++} retenidos por la materia orgánica y al mismo tiempo reducir formas de Cu y Fe trivalentes a formas divalentes, dado que la acción reductora del EDTA en medio alcalino o cerca a la neutralidad es mayor que en medio ácido (17).

En todos los suelos los contenidos de Cu disponibles con EDTA 0.05M están por encima del nivel crítico de Cox y Kamprath (8) fijado para este extractante. Con el extractante $NaHCO_3 + EDTA$, el Cu disponible varió entre 1.1 y 2.5 ppm. Hunter (12) y Lora (19) consideran que valores de 1.0-3.0 ppm de Cu determinados con este extractante son adecuados para la mayoría de los cultivos. Utilizando la solución de doble ácido, el Cu varió entre 0.3 y 0.9 ppm. Lora (19) establece que contenidos de Cu disponibles de 0.5-1.0 ppm utilizando este extractante, son adecuados para el cultivo de los pastos.

TABLA 3. Contenidos totales en ppm de B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn en cinco suelos de la Cuenca Media del río Suárez.

Suelos	Micronutrientes					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Vertic Eutropept	97	64	3,530	187	3.3	88
Typic Argiudoll	124	24	3,270	174	3.8	69
Oxic Dystropept	104	21	2,870	69	5.2	82
Aquic Humitropept	112	13	2,780	163	4.3	52
Typic Eutropept	109	16	2,180	168	7.8	57
Promedio	109.2	27.6	2,926	152.2	4.88	60.2

TABLA 4. Contenido de B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn disponibles (ppm) en cinco suelos de la Cuenca Media del río Suárez.

Suelos	Métodos*	Micronutrientes					
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Vertic Eutropept	1		2,5	122,0	12,4		3,4
	2		4,4	484,0	45,6		5,1
	3		0,9	58,6	56,4		4,2
	4	0,36					
	5					0,25	
Typic Argiudoll	1		1,1	36,5	12,0		2,5
	2		3,6	205,0	42,5		4,8
	3		0,7	22,2	29,5		3,9
	4	0,28					
	5					0,27	
Oxic Dystropept	1		1,8	410,2	8,8		2,4
	2		1,4	428,0	7,8		1,7
	3		0,5	172,3	9,1		1,6
	4	0,24					
	5					0,29	
Aquic Humitropept	1		1,4	174,0	10,5		3,6
	2		2,1	398,5	16,2		3,0
	3		0,4	88,5	14,8		3,3
	4	0,32					
	5					0,28	
Typic Eutropept	1		1,3	130,0	9,0		2,2
	2		2,5	302,0	15,6		1,8
	3		0,3	2,4	6,4		0,6
	4	0,30					
	5					0,20	

* Métodos: 1 = EDTA + NaHCO₃; 2 = EDTA 0,05M pH 9,0; 3 = Carolina del Norte; 4 = Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O; 5 = Solución Tamm.

De acuerdo con los niveles críticos establecidos para Fe y Mn en plantas indicadoras para los extractantes en estudio (8, 12, 19, 22), los contenidos de estos dos micronutrientes en los suelos bajo estudio, se consideran altos. Se exceptúa de esta consideración global el bajo contenido de Fe obtenido con la solución de Carolina del Norte en el suelo Vertic Eutropept, que tiene una gran relación pedogenética con materiales calcáreos.

Para el Mo, la variación fue de 0.20 a 0.29 ppm. Con base en el nivel crítico de 0.04-0.20 ppm reportado para este nutrimento con el extractante en estudio (8), se espera que los contenidos encontrados sean suficientes para los cultivos de la región.

Para el Zn, Hunter (12) considera que, a nivel general, contenidos de 1.5-3.0 ppm por el método de Olsen modificado (EDTA + NaHCO₃) son indicativos de una adecuada disponibilidad de este nutrimento para los cultivos; por lo tanto, la proba-

bilidad de deficiencia en los suelos estudiados es baja. Sin embargo, Lora (19) establece en primera aproximación un nivel crítico de 3.0-6.0 ppm para los suelos del país. Con base en este criterio es probable que los cultivos presenten deficiencia de Zn en los suelos Typic Argiudoll, Oxic Dystropept y Typic Eutropept.

Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de materia seca y contenido de micronutrientes en la planta

Analizando los suelos en conjunto (Tabla 5), se observa que hubo un efecto positivo de todos los tratamientos con relación al testigo absoluto sobre los rendimientos de materia seca del sorgo. La prueba de Duncan indica, además, que existen diferencias significativas entre el tratamiento testigo a menores y los tratamientos con 2.4 kg/ha de Cu, 2.0 y 6.0 de Zn y 1.2 de B en kg/ha, lo

TABLA 5. Promedios de rendimiento de materia seca (g/pote) del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench.), híbrido HR-1 Tolima, en condiciones de invernadero para los distintos tratamientos, en el conjunto de suelos.

Tratamientos	Rendimiento
1. Testigo absoluto	1.29
2. Testigo a menores (TEM)	1.85
3. TEM + 4.0 kg/ha de Fe	1.92
4. TEM + 8.0 kg/ha de Fe	1.85
5. TEM + 12.0 kg/ha de Fe	1.80
6. TEM + 6.0 kg/ha de Mn	1.74
7. TEM + 12.0 kg/ha de Mn	1.95
8. TEM + 18.0 kg/ha de Mn	1.78
9. TEM + 0.8 kg/ha de Cu	1.83
10. TEM + 1.6 kg/ha de Cu	1.99
11. TEM + 2.4 kg/ha de Cu	2.08
12. TEM + 2.0 kg/ha de Zn	2.15
13. TEM + 4.0 kg/ha de Zn	1.97
14. TEM + 6.0 kg/ha de Zn	2.10
15. TEM + 0.6 kg/ha de B	1.87
16. TEM + 1.2 kg/ha de B	2.14
17. TEM + 1.8 kg/ha de B	1.96
18. TEM + 0.5 kg/ha de molibdato de sodio	1.93
19. TEM + 1.0 kg/ha de molibdato de sodio	1.98
20. TEM + 1.5 kg/ha de molibdato de sodio	2.04

Tratamientos ordenados por promedios:									
12	16	14	11	20	10	19	13	17	7
a	ab	abc	abc	abcd	abcde	abcde	abcde	bcdef	cdef
18	3	15	4	2	9	5	8	6	1
cdefg	cdefg	defg	defg	defg	efg	efg	fg	g	h

* Las letras colocadas debajo de los tratamientos indican la prueba de Duncan. Valores con una letra común no son diferentes estadísticamente; en caso contrario, presentan diferencias significativas al 5%.

cual es un indicativo de la probabilidad de encontrar respuesta positiva a la fertilización con los tres micronutrientes mencionados, en los cultivos de la zona.

Respecto al contenido de micronutrientes absorbidos por las plantas (Tabla 6), se observa que la menor absorción se obtuvo en el testigo absoluto. Se presentó una disminución en la absorción de Fe cuando se aplicó el nivel alto del mismo nutriente, con relación al testigo a menores.

El mayor contenido de Fe en la planta se obtuvo con el tratamiento de 2.0 kg/ha de Zn y en general, tanto los tratamientos de Zn como los de Cu mostraron el mejor efecto positivo sobre la absorción foliar de Fe.

El mayor contenido foliar de Mn se obtuvo con el nivel medio de Mn. Por otra parte, se observa que al incrementarse los niveles de Cu aplicados, la absorción de Mn tiende a ser mayor, mientras

que el incremento en los niveles de Fe produjo un efecto contrario.

Para los micronutrientes Cu, Zn, B y Mo, los mayores contenidos foliares corresponden a los tratamientos que incluyeron la dosis más alta de estos micronutrientes.

Similar tendencia a lo ocurrido con la variable absorción foliar de micronutrientes, se reflejó para la variable concentración, en cuanto a la relación existente entre los micronutrientes aplicados y su concentración en la planta para el conjunto de suelos. El efecto de los distintos tratamientos con micronutrientes sobre la concentración promedio foliar de los mismos aparece graficado en las Figuras 1(1A, 1B y 1C) y 2(2A, 2B y 2C). Las ecuaciones de regresión indican que para Zn, Cu, B y Mo la respuesta es de tipo lineal positiva con coeficientes de regresión que estadísticamente resultaron significativos para el Cu, B y Mo y no significativo para el Zn. Para el Fe y Mn la respuesta es de tipo cuadrático con coeficientes de regresión no significativos.

TABLA 6. Promedio de los tratamientos para la absorción foliar de Fe, Cu, Mn, Zn, B y Mo (microgramos/pote) en el sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench.) híbrido HR-1 Tolima, para los suelos en conjunto.

Tratamientos	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Mo
1. T. Absoluto	128.04	7.47	60.02	61.31	10.26	0.83
2. T. A menores (TEM)	166.00	9.56	88.34	86.45	14.26	1.18
3. TEM + 4,0 Fe	182.78	9.90	94.46	92.03	16.49	
4. TEM + 8,0 Fe	169.46	9.56	84.67	87.32	16.96	1.15
5. TEM + 12,0 Fe	160.20	10.46	79.79	79.54	15.37	
6. TEM + 6,0 Mn	146.73	8,60	88,44	80,06	14,93	
7.. TEM + 12,0 Mn	171,46	10,59	97,89	90,21	16,59	1,35
8. TEM + 18,0 Mn	155,68	9,31	82,59	76,42	14,35	
9. TEM + 0,8 Cu	154,20	10,96	76,86	82,59	14,93	
10. TEM + 1,6 Cu	181,60	12,87	86,37	88,36	16,75	1,35
11. TEM + 2,4 Cu	187,62	14,50	91,75	99,57	17,60	
12. TEM + 2,0 Zn	197,37	11,63	95,31	107,50	17,87	
13. TEM + 4,0 Zn	176,12	9,79	85,50	98,62	16,59	1,32
14. TEM + 6,0 Zn	187,03	10,42	91,41	116,49	17,09	
15. TEM + 0,6 B	149,36	8,71	82,30	79,51	20,44	
16. TEM + 1,2 B	183,46	10,06	93,15	94,01	25,40	1,39
17. TEM + 1,8 B	182,14	9,03	83,00	86,10	24,42	
18. TEM + 0,5 Mo	172,16	8,97	84,11	85,94	16,04	1,43
19. TEM + 1,0 Mo	175,03	9,27	85,63	84,90	16,32	1,90
20. TEM + 1,5 Mo	181,70	9,26	84,46	81,48	17,20	2,12

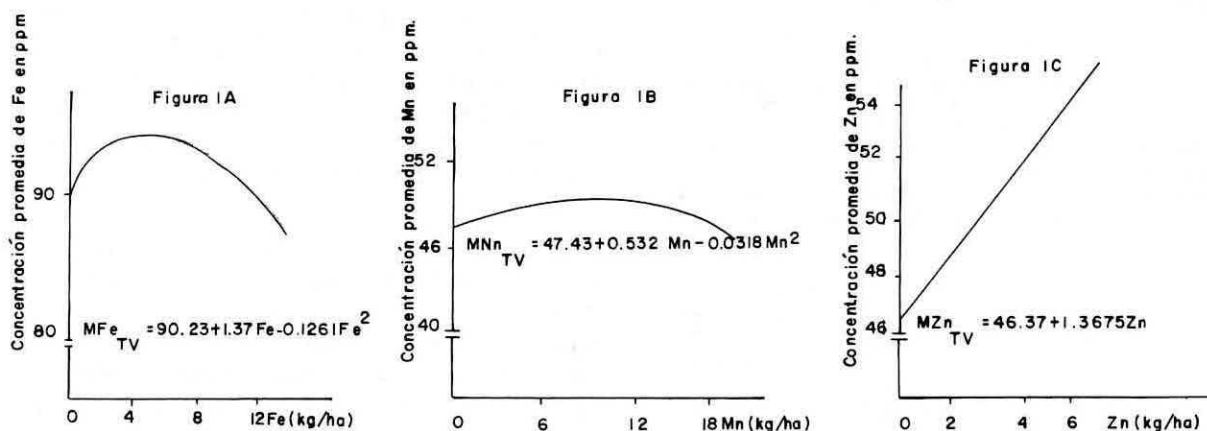


FIGURA 1. Efecto de la aplicación de Fe, Mn y Zn al suelo sobre la concentración promedio foliar de los mismos nutrientes en el sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench.), bajo condiciones de invernadero.

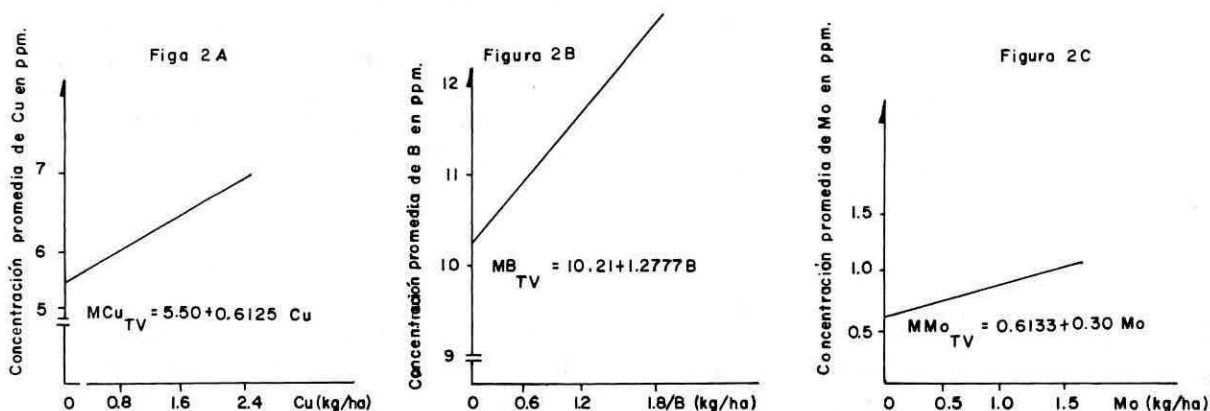


FIGURA 2. Efecto de la aplicación de Cu, B y Mo al suelo sobre la concentración promedio foliar de los mismos nutrientes en el sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench.), bajo condiciones de invernadero.

Análisis de Correlación

El análisis de correlación entre la concentración foliar de micronutrientes y la concentración de los mismos en el suelo aparece en la Tabla 7 para el conjunto de suelos. Para el Fe los coeficientes de correlación son positivos y altamente significativos con los métodos de EDTA 0.05M y Carolina del Norte (HCl 0.05N + H₂SO₄ 0.025N) y no significativo para el método de EDTA + NaHCO₃. En investigaciones realizadas con suelos de otras regiones del país (2, 29) se reportan resultados muy heterogéneos sobre correlación entre Fe foliar y Fe extractable del suelo por diferentes métodos, por lo general con coeficientes de correlación bajos. Esto indica que los procedimientos para medir la disponibilidad de Fe no son suficientemente adecuados y que es necesario, en lo posible, estandarizar metodologías que se ajusten a la heterogeneidad de los suelos.

TABLA 7. Coeficiente de correlación (r) entre la concentración foliar de micronutrientes del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench.) y los micronutrientes disponibles en los suelos estudiados.

Elemento	Extractante	r
Fe	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	0,2005**
	EDTA 0,05M	0,2710**
	EDTA + NaHCO ₃	0,0509 NS
Cu	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	0,0119 NS
	EDTA 0,05M	0,3310**
	EDTA + NaHCO ₃	0,6690**
Mn	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	-0,5128**
	EDTA 0,05M	-0,6771**
	EDTA + NaHCO ₃	0,4586**
Zn	HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N	0,5982**
	EDTA 0,05M	0,3067**
	EDTA + NaHCO ₃	0,1772**
B	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O	0,1250*
Mo	Oxalato de amonio (Tamm)	0,6052**

* Significativo (P < 0,05).

** Altamente significativo (P < 0,01).

NS No significativo (P > 0,05).

Respecto al Cu, la correlación entre concentración foliar y disponibilidad en el suelo es positiva y altamente significativa con los extractantes de EDTA 0.05M; (EDTA + NaHCO₃) y no significativa con el método de Carolina del Norte. El coeficiente de correlación más alto se obtuvo con

el extractante mezcla de EDTA y NaHCO₃, por lo cual se considera más confiable para evaluar la disponibilidad de Cu en los suelos estudiados.

Para el Mn, los métodos de Carolina del Norte y EDTA presentaron coeficientes de correlación negativos y altamente significativos y con el método de Hunter la correlación es positiva y altamente significativa respecto a la concentración foliar del elemento en la planta.

En el caso del Zn los tres métodos presentaron coeficientes de correlación positivos y altamente significativos, pero se dan diferencias apreciables en los valores del coeficiente de correlación, reportando el método de Carolina del Norte la mejor correlación con el contenido de Zn foliar.

Entre el B disponible y la concentración foliar del elemento se observó una correlación positiva y significativa con el método utilizado (P monocálcico monohidratado).

Con relación al molibdeno, a nivel global la correlación entre Mo disponible y Mo foliar es positiva y altamente significativa; a nivel de cada suelo se observó la misma forma de correlación, excepto en el Aquic Humitropept donde el coeficiente de correlación no fue significativo.

Los datos de correlación obtenidos tanto para el B como para el Mo indican la conveniencia de emplear los métodos ensayados para evaluar la disponibilidad de estos dos micronutrientes en suelos con características similares a los considerados. Recomendaciones de la misma índole propuestas por otros investigadores (8, 29) ratifican esta aseveración.

De acuerdo con el análisis de correlación y considerando en forma global los suelos en estudio, se pudo constatar que el extractante EDTA + NaHCO₃ (Hunter) resulta adecuado para evaluar las formas disponibles de los micronutrientes Cu, Mn y Zn. Para el Fe las mejores correlaciones se obtuvieron con el método de EDTA y Carolina del Norte los cuales son también confiables para el Zn disponible.

CONCLUSIONES

- Los contenidos totales de los micronutrientes B, Fe, Cu, Mn, Mo y Zn de los suelos estudiados de la Cuenca Media del río Suárez, se consideran suficientes como reserva potencial a largo plazo para los cultivos de la región.

- Los contenidos de B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn disponibles en los suelos estudiados se consideran adecuados de acuerdo con los niveles críticos reportados por Cox y Kamprath (8) y Hunter (12).
- Se encontró efecto positivo y significativo de la aplicación de 2.4 kg/ha de Cu, 2.0 y 6.0 kg/ha de Zn y 1.2 kg/ha de B sobre el rendimiento de materia seca del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench) Híbrido HR-1 Tolima. No se obtuvo respuesta a la aplicación de Fe, Mn y Mo.
- En términos generales, y con base en los coeficientes de correlación hallados entre los micronutrientes Cu, Mn y Zn disponibles y su concentración foliar en las plantas de sorgo, resultó más adecuado el extractante EDTA + NaHCO₃ para medir la disponibilidad de los mismos nutrientes, en comparación con los extractantes EDTA 0.05M y Carolina del Norte (H₂SO₄ 0.025N + HCl 0.05N); estos dos últimos ofrecieron mejores resultados para evaluar el Fe disponible y son igualmente aceptables para la determinación del Zn disponible.
- Se recomienda seguir utilizando en análisis de rutina la solución de fosfato monocalcico para la determinación de B disponible y la solución Tamm (oxalato de amonio pH 3.3) para el Mo disponible en suelos con características similares a los del presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Agreda, J.L.; Otero, C.D.; Ortega, E.J.** 1982. Disponibilidad de micronutrientes bajo condiciones de cultivo, bosque y pradera en suelos de la Llanura del Pacífico, departamento de Nariño. Suelos Ecuatoriales (Colombia) v. 12(1) 14-22.
2. **Bernal, C.G.; Triana, N.M.** 1980. Disponibilidad de micronutrientes en cuatro suelos de clima frío de Cundinamarca y Boyacá. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, (Tesis Químico). 260 p.
3. **Bradford, G.J.** 1966. Boron. In: Chapman, H.D. (ed.). Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, Division of Agricultural Science. pp. 33-61.
4. **Brugés, J.A.** 1975. Evaluación general de los micronutrientes en la Estación Experimental Caribia. Bogotá, UN-ICA. (Tesis M.S.). 117 p.
5. **Camelo, J.D.; Rojas, A.; Yunda, A. de.** 1982. Evaluación de algunos métodos para la extracción de boro disponible en los suelos. Suelos Ecuatoriales (Colombia) v. 1.;:310-327.
6. **Castillo, L.E.** 1984. Disponibilidad de azufre y magnesio en cinco suelos de la cuenca media del río Suárez (Santander y Boyacá). Bogotá. UN-ICA. 40 p. (Trabajo especial).
7. **Castro, F.H.** 1983. Levantamiento de la cobertura terrestre y del uso de la tierra del municipio de San Benito (Santander). Bogotá, UN-ICA. 40 p. (Trabajo especial).
8. **Cox, F.R.; Kamprath, E.J.** 1972. Micronutrient soil test. In: Mortvedt, J.J.; Giordano, P.M.; Lindsay, W.L. (ed.) Micronutrients in agriculture; Zn, Fe, B, Mo, Cu, Mn. Symposium Muscle Shoals, Alabama 20-22 de abril, 1971. Proceedings. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. pp. 289-318.
9. **Guerrero, R.; Burbano, H.** 1978. Estado de los nutrientes en suelos derivados de cenizas volcánicas. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. 27 p. (Mimeografiado).
10. **Guerrero, R.; Burbano, H.** 1979. Fracciones de azufre y niveles críticos de disponibilidad para la planta en suelos de los Llanos Orientales y la Sabana de Bogotá. Suelos Ecuatoriales (Colombia) v. 10(2): 232-244.
11. **Gupta, S.K.; Stewart, J.W.B.** 1977. The extraction and determination of plant available boron in soils. Berna, Swiss Federal Research Station for Agricultural Chemistry and Hygiene of Environment, pp. 153-169.
12. **Hunter, A.H.** 1973. Methods commonly used for routine soil analysis in cooperating countries. North Carolina State University, International Soil Fertility Evaluation and Improvement Project. 12 p.
13. **Instituto Colombiano Agropecuario.** 1979. Bogotá (Colombia). Técnicas de laboratorio para análisis de suelos. Bogotá, ICA. Programa Nacional de Suelos. p. irr. (Mecanografiado).
14. **Instituto Colombiano Agropecuario.** 1981. Fertilización en diversos cultivos. Cuarta Aproximación. Bogotá, ICA. (Manual de Asistencia Técnica, No. 25). 56 p.
15. **Instituto Geográfico Agustín Codazzi.** 1971. Bogotá (Colombia). Diccionario geográfico de Colombia. Bogotá. IGAC.
16. **Kanehiro, Y.; Shermang, G.D.** 1965. Fusion with sodium carbonate for total elemental analysis. In: Black, C.A. (ed.). Methods of soil analysis. Part. 2. Chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, pp. 952-958. (Agronomy Series, no. 9).
17. **Lagunas, R.** 1964. Estudio comparativo de distintos métodos de extracción de hierro, cobre y manganeso en suelos forestales. Anales de Edafología y Agrobiología (España) v. 23(1-2): 81-89.
18. **Lindsay, W.L.; Norvell, W.A.** 1969. Development of a DTPA micronutrient soil test. Agron. Abst. (Estados Unidos) p. 84.

19. **Lora, R.** 1981. Niveles críticos para elementos menores en los suelos. *In:* Instituto Colombiano Agropecuario. Programa Nacional de Suelos. Bogotá (Colombia). Informe de Progreso 1981. ICA. Bogotá, pp. 32-35.
20. **Lubanauskas, Ch.K.** 1966. Manganese. *In:* Chapman, H.D. (ed.). Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, División of Agricultural Science. pp. 264-285.
21. **Lucas, R.E.; Knezek, B.D.** 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. *In:* Mortvedt, J.J.; Giordano, P.M.; Lindsay, W.L. (ed.). Micronutrients in agriculture; Zn, Fe, B, Mo, Cu, Mn. Proceedings. Symposium at Muscle Shoals, Alabama 20-22 de abril, 1971. Madison, Wisconsin, Soil Society of America. pp. 265-283.
22. **Molina, G.C.; Frye, C.A.** 1982. Selección y calibración de métodos químicos para la evaluación de elementos menores catiónicos en suelos algodóneros de Colombia. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* v. 12(1): 200-211.
23. **Mortvedt, J.J.** 1978. Ocurrence of micronutrients in rocks, soils, plants and fertilizers. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* v. 9(2): 134-140.
24. **Motta, de M., B.** 1976. efecto de dos métodos de fertilización con molibdeno en los rendimientos de la coliflor (*Brassica oleracea* var. Bola de Nieve) en un suelo de la serie Mosquera. Bogotá, UN-ICA. 88 p. (Tesis M.S.).
25. **Ortega, E.J.** 1976. Disponibilidad de micronutrientos en varias series de los suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Tibaitatá. Bogotá, UN-ICA, 154 p. (Tesis M.S.).
26. **Ruíz, C.; García, O.A.** 1981. Disponibilidad de elementos menores en tres suelos del departamento del Cauca. *In:* Instituto Colombiano Agropecuario. Programa Nacional de Suelos. Bogotá, pp. 31-32.
27. **Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.** 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, Montoner y Simón. pp. 310-383.
28. **Tucher, T.C.; Kurtz, L.T.** 1955. A comparison of several chemical methods with the bio-assay procedure for extracting zinc from soils. *Soil Science Society of American Proceedings (U.S.A.)* v. 19(4): 477-481.
29. **Villar, H.** 1980. Disponibilidad de elementos menores en algunos suelos tabacaleros de Santander. Bogotá, UN-ICA, 109 p. (Tesis M.S.).
30. **Viro, P.J.** 1955. Use of EDTA in soils analysis. II. Determination of soil fertility. *Soil Science (USA)* 80(1):69-74.

EXTRACCION DE HARINAS DE VARIEDADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd)

Emigdio Ballón; Alvaro Coca C.*

RESUMEN

El estudio se realizó en 1984, en los Laboratorios de Farinología del ICA-Tibaitatá y de la Estación Experimental de Patacamaya (Bolivia), con el objeto de determinar el porcentaje de extracción de harinas de las diferentes variedades de quínoa cultivadas en Bolivia, Colombia y Perú, donde esta especie se cultiva a alturas superiores a los 3.000 m.s.n.m. Los resultados obtenidos respecto al tamaño, peso y dureza del grano mostraron diferencias significativas (Duncan $\alpha = 0.05$), lo mismo que los porcentajes de extracción de harina y salvado ($\alpha = 0.05$). Así, el mayor rendimiento en harina se observó en la variedad Sajama 153 con un valor de 77%, seguido de las variedades Real y Pantela con valores de 71.79 y 71.29%, respectivamente, mientras que en contenido de salvado los valores más altos fueron para las varie-

* I.A., M.S. Coordinador Programa de Quínoa, Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA); Químico Biólogo, M.S. Programa Cereales Menores. ICA-Tibaitatá, A.A. 151123 Bogotá, Colombia.