

EVALUACION DE ALGUNOS METODOS PARA LA EXTRACCION DE LOS MICRONUTRIMENTOS B, Fe, Zn, Mn y Cu EN SUELOS DE LAS ZONAS NORTE Y CENTRO DEL VALLE DEL CAUCA

Carlos Crespo P. *
Diego Jimenez R.*
Alvaro Garcia O.**

COMPENDIO

Para evaluar el contenido de Fe, Cu, Mn y Zn disponibles en el suelo se usaron: EDTA 0.01M + NaHCO₃ 0.5 N, HCl 0.05 N + H₂SO₄, DTPA y HCl 0.1N. El B disponible fue extraído con Ca(H₂PO₄)₂ H₂O 0.008 M, HCl 0.05N y NH₄OAc pH 4.8. Para la determinación de los micronutrientes en el material vegetal se usaron como soluciones para la digestión el metanol ácido y la mezcla nítrico perclórica para Fe, Mn, Cu y Zn; para el B se usó el método de Hunter. El DTPA resultó adecuado para evaluar Fe y Cu, el doble ácido para Mn, el NaHCO₃ + EDTA para el Zn y el HCl 0.05N y Ca (H₂PO₄)₂ H₂O para evaluar el B disponible en el suelo. La mezcla nítrico perclórica resultó más apropiada para la determinación de los nutrientes en los tejidos que el metanol ácido.

ABSTRACT

To evaluate available Fe, Cu, Mn and Zn was used: EDTA 0.01M + NaHCO₃ 0.5N, HCl 0.05N + H₂SO₄ 0.025N, DTPA and HCl 0.1 N. Available B was extracted with Ca(H₂PO₄)₂ H₂O 0.008M; HCl 0.05N and NH₄OAc pH 4.8. For determination of micronutrient in the vegetal material was used as solution acid methanol and nitric - perchloric mixture for Fe, Mn, Cu and Zn; for B Hunter's methods. DTPA is advantageous to evaluate Fe and Cu, double acid to Mn, NaHCO₃ + EDTA to Zn and HCl 0.05N and Ca(H₂PO₄)₂ H₂O to evaluate B available in the soil. Nitric- perchloric mixture is most advantageous for determination of nutrients in the tissues than acid methanol.

* Estudiante de pre-grado. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

** Instituto Colombiano Agropecuario. ICA, A.A. 233, Palmira.

1. INTRODUCCION

Hasta ahora ningún extractante ha sido bueno para todas las condiciones. No obstante muchos estudios hechos en los pasados diez años muestran que se pueden usar con éxito varias soluciones extractoras para evaluar el contenido de micronutrientes y diagnosticar deficiencia de los mismos en los suelos. Las más comunes son los ácidos diluídos (HCl 0.05 N; HCl 0.1 N y HCl 0.05 N + H₂SO₄ 0.25 N) y los quelatos (DTPA; DTPA - (NH₄)₂CO₃ y EDTA + NaHCO₃) para los análisis de hierro, manganeso y cobre. El agua caliente es aún el extractante general para B aunque el Ca(H₂PO₄)₂ H₂O y el HCl 0.05 N han mostrado ser promisorios.

En Colombia a pesar de que se han hecho algunos trabajos, aún no se han evaluado suficientemente los diferentes métodos de extracción para definir los más convenientes para los suelos de una región. En el Valle del Cauca, Garavito y León (1), encontraron deficiencias de Boro y Lora (4) informó sobre deficiencias de Fe, en plantas de cacao; de Mn en soya y de Zn en cítricos. Lora (4) enuncia que los métodos de extracción más usados son el EDTA 0.01 M + NaHCO₃ 0.5 N pH 8.5 y el HCl 0.5 N + H₂SO₄ 0.25 N para los análisis de Fe, Mn, Cu y Zn; para el B los métodos del agua caliente y el Ca(H₂CO₄)₂ H₂O 0.008 M. Molina y Frye (7) comunican deficiencias de uno o varios micronutrientes en las zonas algodoneras del país y consideran el DTPA como método promisorio para los análisis de rutina de Fe, Cu, Mn y Zn. Debido a la poca información disponible y a la variabilidad de los resultados se planeó una investigación de laboratorio con los siguientes objetivos: determinar el contenido disponible de los micronutrientes, por diferentes métodos de extracción en los suelos de las zonas norte y centro del Valle del Cauca; contribuir a delimitar áreas de distintos niveles de micronutrientes; estudiar la correlación entre las concentraciones de los micronutrientes y la cantidad de estos micronutrientes extraídos por las plantas; determinar los métodos más adecuados para la determinación de los micronutrientes Fe, Cu, B, Zn, Mn en suelos y tejidos.

2. METODOLOGIA

El área estudiada corresponde a los suelos de las zonas norte y centro del Valle del Cauca (Cuadro 1) y el ensayo biológico se realizó en el Instituto Colombiano Agropecuario-ICA de Palmira. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con 30 tratamientos y 4 replicaciones. Como plantas indicadoras se utilizaron el fríjol (*Phaseolus vulgaris*), sorgo (*Sorghum vulgare*) y tomate (*Lycopersicon esculentum*). Se sembraron tres semillas por cultivo en cada pote, las plantas se cosecharon a ras del suelo a los cincuenta días de la siembra. Se lavaron con agua destilada y se secaron en estufa a 70°C hasta peso constante. Posteriormente se les determinó el peso

Cuadro 1

Localización de los sitios de muestreo y clasificación taxonómica de los
30 suelos estudiados

Zona	Suelo	Ciudad	Hacienda	Clasificación taxonómica
Centro	2	Ginebra	Arbolito	Typic Pellustert
	3	Buga	La Cecilia	Typic Pellustert
	4	Tulúa	La Tapia	Typic Pellustert
	7	Tulúa	La Albania	Typic Pellustert
	11	Tulúa	Ing. San Carlos	Typic Pellustert
	14	Sonso	Ing. Pichichí	Typic Pellustert
	15	Sonso	La Reina	Typic Pellustert
	1	Zanjón hondo	Zanjón hondo	Vertic Ustropept
	10	Buga	Establo	Fluvaquentic Ustropept
	5	Pradera	La Trinidad	Entic Haplustoll
	6	Amaime	Ing. Manuelita	Pachic Haplustoll
	8	Rozo	Paso Ancho	Fluvaquentic Haplustoll
	9	Amaime	Ing. Providencia	Pachic Haplustoll
12	Tulúa	Univ. de Tulúa	Fluentic Haplustoll	
13	Palmira	ICA	Pachic Haplustoll	
Norte	17	Zarzal	Ing. Río Paila	Typic Pellustert
	18	Andalucía	Las Ceibas	Typic Pellustert
	20	B/grande	Panorama	Typic Pellustert
	22	Overo	Overo	Typic Pellustert
	27	Tulúa	Los Mangos	Typic Pellustert
	28	B/grande	Navarrete	Typic Pellustert
	29	Tulúa	La Sonora	Typic Pellustert
	30	La Unión	Esmeralda	Typic Pellustert
	16	Obando	La Chacara	Fluentic Ustropept
	23	Victoria	La Glorieta	Fluentic Ustropept
	24	La Unión	Vivero	Fluvaquentic Ustropept
	25	Obando	La Perla	Fluentic Ustropept
	19	Cartago	Maracaibo	Typic Haplustoll
	21	Cartago	La Siberia	Typic Haplustoll
	26	Zarzal	Guavito	Vertic Haplustalf.

seco, se molieron para la determinación de Cu, Fe, Mn y Zn totales por dos métodos de digestión, el metanol ácido y nítrico-perclórico.

En el Cuadro 2 aparecen los análisis de los suelos estudiados. Se utilizaron cuatro métodos para la extracción simultánea de Fe, Cu, Mn y Zn: HCl 0.05 N + H₂SO₄ con relación suelo: solución de 1: 4 y 15 minutos de agitación; HCl 0.1 N con relación suelo: solución de 1: 25 y 30 minutos de agitación; DTPA, con relación suelo: solución de 1:2 y 2 horas de agitación, y NaHCO₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M pH 8.5 con relación suelo: solución 1: 10 y 10 minutos de agitación.

Para determinar el B disponible se emplearon tres métodos de extracción: Ca(H₂PO₄)₂ H₂O 0.008 M con relación suelo: solución 1: 2.5 y 10 minutos de agitación; NH₄ OA_c 1N pH 4.8 con relación suelo: solución 1: 2 y 10 minutos de agitación, y HCl 0.05 N con relación suelo: solución de 1: 2 y cinco minutos de agitación.

La valoración cuantitativa de cada uno de los elementos Cu, Fe, Mn y Zn se hizo por absorción atómica y el B por el método colorimétrico con azometina - H.

Para evaluar las técnicas de extracción de los micronutrientes se utilizó el análisis de correlación entre la cantidad de micronutrientes (ppm) y la concentración de micronutrientes en miligramos (mg) en tejido vegetal, extraído por dos métodos de digestión. Además se tuvo en cuenta la cantidad de información proporcionada por cada método de extracción, indicando que a mayor cantidad de información menor variación del método y por lo tanto mayor precisión.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Contenido de B, Cu, Fe, Mn y Zn disponibles en el suelo.

Con el Ca (H₂PO₄)₂ H₂O el B disponible se encontró en un rango de 0.10 - 0.50 ppm (Cuadro 3). De acuerdo con Lora (4) el nivel medio de disponibilidad de B se encuentra entre 0.20 - 0.60 ppm con este extractante, lo que situó al 33.4 o/o de los suelos de las zonas en el nivel bajo y al 66.6 o/o en el nivel medio. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Garavito y León (1) quienes informan la existencia de niveles bajos y medios de B en el Valle del Cauca.

El B disponible extraído con HCl 0.05 N se encuentra en un rango de 0.36 - 1.08 ppm. Valores mayores de 4 ppm son tóxicos para las plantas cuando se usa este extractante, lo cual indica que estas zonas no alcanzan a

Análisis químico de los 30 suelos estudiados

Suelo	pH	o/o MO	P (ppm)	Meq / 100 gramos de suelo							CIC	Ce	o/o Na	o/o A	o/o L	o/o Ar.	Textura
				Ca	Mg	K	Na	Ce	o/o Na	o/o A							
1	6.4	2.6	9.8	19.2	15.2	0.30	0.57	35.3	0.8	1.6	34	26	40	FAr			
2	6.7	4.6	15.4	21.2	16.4	0.33	0.65	38.6	0.7	1.7	29	31	40	FAr			
3	6.6	2.2	235.4	25.7	15.5	1.01	0.67	42.9	1.1	1.6	29	21	50	Ar			
4	6.4	2.4	38.6	15.5	6.9	0.30	0.49	23.2	0.7	2.1	34	31	35	FAr			
5	6.1	4.1	28.5	29.8	20.6	0.63	1.04	52.1	0.8	2.0	24	26	50	Ar			
6	6.1	4.1	139.2	13.1	4.1	1.28	0.64	19.1	1.7	3.4	38	40	22	F			
7	6.3	2.8	13.9	18.4	9.6	0.48	0.58	21.1	0.7	2.0	28	26	46	Ar			
8	6.6	2.9	59.1	17.1	6.5	0.74	0.65	25.0	0.7	2.6	33	28	39	FAr			
9	6.1	3.5	7.7	11.8	6.2	0.22	0.46	18.7	0.6	2.5	43	28	29	F			
10	6.7	1.6	69.1	9.8	3.0	0.48	0.43	13.7	0.6	3.1	58	21	21	FAr A			
11	6.4	3.1	22.8	17.1	7.3	0.33	0.51	25.2	0.8	2.0	28	32	40	FAr			
12	6.1	3.7	16.9	18.4	11.2	0.63	0.53	30.8	0.6	1.7	26	24	50	Ar			
13	6.5	3.7	61.3	12.2	6.6	0.46	0.50	19.8	0.5	2.5	26	40	34	FAr			
14	6.7	4.1	9.4	21.2	15.6	0.30	0.50	37.6	0.6	1.3	27	34	39	FAr			
15	6.7	3.3	66.1	17.5	9.3	0.89	0.50	28.2	0.8	1.7	23	38	39	FAr			
16	5.8	1.1	5.9	30.2	12.9	0.56	0.50	44.2	0.2	1.1	13	26	61	Ar			
17	6.5	2.7	13.5	35.2	15.2	0.90	0.60	41.9	0.6	1.2	22	41	37	FAr			
18	6.4	2.0	45.5	28.2	12.9	0.90	0.40	42.4	0.4	0.9	34	23	43	Ar			
19	5.2	2.7	155.5	26.5	11.6	1.88	0.40	40.4	0.7	1.0	21	33	46	Ar			
20	6.3	1.8	7.3	28.2	15.2	0.36	0.40	44.2	0.4	0.9	26	34	40	FAr			
21	5.7	3.2	56.2	14.2	9.9	1.73	0.40	26.2	0.6	1.5	23	33	44	Ar			
22	6.1	1.8	9.1	23.4	12.9	0.60	0.40	37.3	0.3	1.1	30	26	44	Ar			
23	5.9	1.8	47.0	19.2	10.6	1.39	0.60	31.8	0.5	1.9	24	40	36	FAr			
24	6.3	1.3	8.0	29.2	12.9	0.24	0.60	42.9	0.4	1.4	32	30	38	FAr			
25	6.1	1.5	93.0	24.1	9.9	2.28	0.30	36.6	0.5	0.8	27	31	42	Ar			
26	6.2	0.7	173.5	18.2	9.3	0.63	0.50	28.6	0.8	1.7	36	23	41	FAr			
27	6.4	1.1	17.9	24.1	12.9	0.73	0.50	38.2	0.4	1.3	27	30	43	Ar			
28	6.3	2.9	47.0	27.3	15.2	1.18	0.40	44.1	0.7	0.9	14	31	53	Ar			
29	6.3	2.2	20.6	23.4	12.9	0.78	0.30	37.4	0.3	0.8	27	34	39	FAr			
30	6.7	0.7	12.2	27.3	11.6	0.40	0.40	39.7	0.4	1.0	27	38	35	FAr			

Cuadro 3

Rangos de contenidos de micronutrientes (ppm) disponibles en los suelos de las zonas Centro y Norte del Valle del Cauca, determinados por varios métodos de extracción

Extractantes	B	Cu	Zn	Fe	Mn
Ca (H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O	0.10 - 0.50				
HCl 0.05 N	0.36 - 1.08				
NH ₄ OAc pH 4.8	0.23 - 0.73				
NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M		3.5 - 34.1	2.1 - 21.2	26 - 400	26 - 132
HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N		0.24 - 6.00	3.1 - 53.8	0.7 - 84	33 - 148
HCl 0.1 N		5.6 - 44.5	33 - 128	373 - 2127	132 - 510
DTPA		2.5 - 16.7	1.9 - 29.9	21 - 209	28 - 109

el nivel tóxico. Utilizando el $\text{NH}_4 \text{OA}_c$, el B disponible se encuentra en un rango de 0.23 - 0.73 ppm.

El Cu disponible extraído con $\text{NaHCO}_3 + \text{EDTA}$ se encuentra en un rango de 3.5 - 34.1 ppm. Hunter (2) y Lora (4) señalan que el nivel medio de disponibilidad de Cu se encuentra en el rango de 1.0 a 3.0 ppm con este extractante, por lo que estas zonas pueden calificarse como altas.

Usando $\text{HCl } 0.05 + \text{H}_2 \text{SO}_4$ y 0.025 N como solución extractora el Cu disponible varió entre 0.24 y 6.00 ppm. Como con este extractante el nivel medio de disponibilidad de Cu es de 0.5- 1.0 ppm para la mayoría de los cultivos (Lora, 4), el 16.7 o/o de los suelos se situaron en el nivel bajo y al 16.7 o/o en el nivel medio.

El Cu disponible extraído con $\text{HCl } 0.1 \text{ N}$ se encuentra en un rango de 5.6-44.5 ppm. El nivel medio de disponibilidad de Cu es de 2-3 ppm para la mayoría de los cultivos (Lindsay y Cox, 3), lo que indica que los suelos en estudio tienen nivel alto de este nutrimento.

Utilizando el DTPA, el Cu se encuentra en un rango de 2.5 a 16.7 ppm. El nivel crítico para Cu extraído con este extractante es de 1 ppm y valores mayores de 20 ppm resultan tóxicos (Lindsay y Cox, 3), lo cual indica que estas zonas no alcanzan el nivel tóxico.

Los contenidos de Zn variaron entre 2.1 y 21.1 ppm para el método del $\text{NaHCO}_3 + \text{EDTA}$, entre 3.1 y 53.8 ppm. para el doble ácido, entre 1.9 y 29.9 ppm para el DTPA y entre 33 y 128 ppm para el $\text{HCl } 0.1 \text{ N}$. Para el caso del HCl algunos autores han señalado un nivel crítico entre 2.5 y 10 ppm, lo cual permite clasificar todos los suelos como altos. Sin embargo, para el DTPA se ha sugerido un nivel crítico de 3 ppm para la mayoría de los cultivos; para el $\text{NaHCO}_3 + \text{EDTA}$ entre 3 y 6 ppm y de 4 ppm para el doble ácido, lo cual hace que el 13.4 o/o de los suelos estudiados sean bajos según el DTPA y el 10 o/o para los otros dos métodos. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Lora (4) quien informa la existencia de niveles bajos de Zn en algunos suelos del Valle del Cauca.

De acuerdo con los niveles críticos establecidos por algunos autores para los cuatro extractantes evaluados, el contenido de Fe es alto cuando se usan como extractantes $\text{EDTA} + \text{NaHCO}_3$, DTPA y $\text{HCl } 0.1 \text{ N}$. Con el método del doble ácido el contenido de Fe es bajo para la mayoría de los suelos.

Los criterios sobre niveles determinados por algunos autores, permiten calificar el contenido de Mn como altos para los suelos de las zonas norte y

centro del Valle del Cauca cuando se usan los cuatro métodos de extracción.

En cuanto al contenido de micronutrientes en los tejidos, el frijol fue el cultivo que más absorbió Fe y B mientras que el sorgo absorbió las mayores cantidades de Mn, Cu y Zn; el tomate también presentó alta extracción de Mn. En general los contenidos de los micronutrientes en los tejidos de frijol, sorgo y tomate presentaron la siguiente secuencia: Fe > Mn = Zn > B > Cu.

3.2. Evaluación de metodologías para análisis de micronutrientes en suelos.

En el frijol (Cuadro 4) la mejor correspondencia entre el contenido en el suelo y la concentración en los tejidos en el caso del Fe la presentó el método del DTPA con el método de la mezcla nítrico perclórica ($r = 0.731^{**}$), seguido del EDTA 0.01 M + NaHCO_3 0.5 N con ambos métodos de determinación en los tejidos con un coeficiente de correlación positivo y altamente significativo (0.706^{**}) en ambos casos. Para el Cu la mejor correspondencia la presentaron el DTPA y el HCl con la mezcla nítrico perclórica con valores de r positivos y altamente significativos de 0.975^{**} y 0.699^{**} respectivamente. Para el Mn los valores más altos se obtuvieron con el método del doble ácido (0.788^{**} para el metanol ácido y 0.842^{**} para la mezcla nítrico perclórica) y para el Zn con el NaHCO_3 + EDTA, aunque su grado de asociación con el contenido en los tejidos no fue muy alto.

En el sorgo (Cuadro 5) la mejor correspondencia entre el contenido de micronutrientes en la planta y los micronutrientes del suelo en el caso del Fe la presentó el DTPA con la mezcla nítrico perclórica con un coeficiente de correlación ($r = 0.709^{**}$) positivo y altamente significativo (Cuadro 5). Para el Cu la mejor correspondencia la presentaron los métodos del DTPA (0.933^{**}), HCl 0.1 N (0.859^{**}) y el NaHCO_3 + EDTA (0.760^{**}) con el método de la mezcla nítrico perclórica. Para el Mn, las mayores correlaciones se obtuvieron entre el doble ácido con ambos métodos de digestión con coeficientes de correlación positivos y significativos (0.678^{**} y 0.772^{**}). Para el Zn los valores de r más altos se obtuvieron con el DTPA (0.709^{**} y 0.735^{**} para el metanol ácido y la mezcla nítrico perclórica respectivamente) y entre el Olsen modificado con la mezcla nítrico perclórica (0.705^{**}).

En el tomate (Cuadro 6), la mejor correlación en el caso del Fe se presentó entre el método del DTPA con la mezcla nítrico perclórica con un valor de $r = 0.795^{**}$ positiva y altamente significativa. Para el Cu la mejor correlación la presentó el método del DTPA (0.795^{**} y 0.984^{**}); el HCl 0.1 N

Cuadro 4

Coeficiente de correlación (r) entre el contenido de micronutrientes del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y los micronutrientes disponibles en los suelos estudiados

Elemento	Extractante	r	
		Metanol ácido	Nítrico perclórico
Fe	NaHCO ₃ 0.5 + EDTA 0.01 M	0.706 **	0.706 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.497 **	0.531 **
	DTPA	0.672 **	0.732 **
	HCl 0.01 N	0.054 NS	0.013 NS
Cu	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.289 NS	0.500 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.169 NS	0.288 NS
	DTPA	0.520 **	0.795 **
	HCl 0.1 N	0.385 *	0.699 **
Mn	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.693 **	0.582 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.788 **	0.842 **
	DTPA	0.618 **	0.502 **
	HCl 0.1 N	0.475 **	0.415 **
Zn	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.425 *	0.653 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.130 NS	0.475 **
	DTPA	0.269 NS	0.546 **
	HCl 0.1 N	0.279 NS	0.516 **

** Altamente significativo (P < 0.01)

* Significativo (P < 0.05)

NS No significativo (P > 0.05)

Cuadro 5

Coefficiente de correlación (r) entre el contenido de micronutrientos del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench) y los micronutrientos disponibles en los suelos estudiados

Elemento	Extractante	r	
		Metanol	Nitrico perclórico
Fe	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.357 NS	0.526 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.341 NS	0.449 **
	DTPA	0.574 **	0.709 **
	HCl 0.1 N	0.012 NS	0.024 NS
Cu	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.581 **	0.760 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.482 **	0.359 NS
	DTPA	0.687 **	0.933 **
	HCl 0.1 N	0.634 **	0.859 **
Mn	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.404 **	0.507 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.25 N	0.678 **	0.772 **
	DTPA	0.328 NS	0.386
	HCl 0.1 N	0.224 NS	0.336 NS
Zn	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.653 **	0.705 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.627 **	0.651 **
	DTPA	0.709 **	0.735 **
	HCl 0.1 N	0.581 **	0.595 **

** Altamente significativo (P < 0.01)

* Significativo (P < 0.05)

NS No significativo (P > 0.05)

Cuadro 6

Coeficiente de correlación (r) entre el contenido de micronutrientes del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) y los micronutrientes disponibles en los suelos estudiados

Elemento	Extractante	r	
		Metanol ácido	Nítrico perclórico
Fe	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.457 **	0.649 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.202 NS	0.352 NS
	DTPA	0.524 **	0.706 **
	HCl 0.1 N	0.158 NS	0.082 NS
Cu	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.664 **	0.823 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.376 **	0.428 **
	DTPA	0.796 **	0.948 **
	HCl 0.1 N	0.744 **	0.936 **
Mn	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.554 **	0.658 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.710 **	0.825 **
	DTPA	0.571 **	0.656 **
	HCl 0.1 N	0.482 **	0.617 **
Zn	NaHCO ₃ 0.5 N + EDTA 0.01 M	0.758 **	0.771 **
	HCl 0.05 N + H ₂ SO ₄ 0.025 N	0.537 **	0.549 **
	DTPA	0.636 **	0.654 **
	HCl 0.1 N	0.432 **	0.445 **

** Altamente significativo (P < 0.01)

* Significativo (P < 0.05)

NS No significativo (P > 0.05)

Cuadro 7

Coeficiente de correlación (r) entre el contenido de boro en el tejido vegetal y el boro disponible en los suelos estudiados

Elemento	Cultivo	Extractante	r
B	Frijol	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O	0.662 **
		HCl 0.05 N	0.735 **
		NH ₄ OAc	0.359 NS
	Sorgo	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O	0.798 **
		HCl 0.05 N	0.822 **
		NH ₄ OAc	0.376 **
	Tomate	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O	0.665 **
		HCl 0.05 N	0.813 **
		NH ₄ OAc	0.501 **

** Altamente significativo (P < 0.01)

* Significativo (P < 0.05)

NS No significativo (P > 0.05)

(0.744** y 0.936** con el metanol ácido y la mezcla nítrico perclórica) y el Olsen modificado con la mezcla nítrico perclórica (0.823**). Para Mn el doble ácido presentó la más alta correlación con valores de $r = 0.710^{**}$ y 0.825^{**} para el metanol ácido y la mezcla nítrico perclórica respectivamente. Para el Zn se encontró que la mejor correspondencia la presentó el método de Olsen modificado ($r = 0.758^{**}$ y 0.771^{**} con el metanol ácido y la mezcla nítrico perclórica respectivamente).

Los coeficientes de correlación más altos entre el contenido de B en el tejido vegetal y el B extraído del suelo se presentaron con los métodos de extracción HCl 0.5 N y el $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ para el fríjol, sorgo y tomate (Cuadro 7).

Para los cultivos estudiados la mezcla nítrico perclórica presentó mayor grado de asociación con los métodos de suelo, lo que indica que este método es más apropiado para la determinación de nutrimentos en los tejidos que el metanol ácido.

Los métodos que menor variación presentaron o sea una mayor precisión fueron el DTPA para Fe, Cu, Zn y Mn, el doble ácido para Mn y el $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ para B.

4. CONCLUSIONES

- 4.1. El método del DTPA resultó adecuado para evaluar Fe y Cu disponibles en los tres cultivos y Zn disponible en sorgo; el doble ácido para evaluar Mn disponible y el HCl 0.1 N para evaluar Cu disponible en los tres cultivos; el Olsen modificado para evaluar Fe disponible en fríjol, Cu disponible en sorgo y Zn disponible en los tres cultivos; el HCl 0.05 N y el $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ para evaluar B disponible en los tres cultivos.
- 4.2. La mezcla nítrico perclórica presentó mayor grado de asociación con los métodos de suelos.
- 4.3. De acuerdo con los resultados, se puede recomendar el DTPA para evaluar Fe, Mn, Zn y Cu, por presentar la mayor precisión, buenas correlaciones entre métodos y buenas correlaciones entre el contenido de micronutrimentos en el suelo y la planta; además este método es de fácil realización y fácilmente adaptable a procedimientos rutinarios de laboratorio.

5. BIBLIOGRAFIA

1. GARAVITO, N. F.; LEON, S. A. Propiedades del suelo en relación con deficiencias de boro en el Valle del Cauca. Suelos ecuatoriales (Colombia). v. 9, n. 2, p. 141 - 148. 1978.
2. HUNTER, A. Methods commonly used for routine soil analysis in cooperating countries. North Carolina State University, International soil fertility evaluation and improvement project, 1973. 12 p.
3. LINDSAY, W. L.; COX FR. Micronutrient soil testing for the tropics. Fertilizer Research. v. 7. 1985.
4. LORA, R. Disponibilidad en el suelo de micronutrientos esenciales para la planta. Bogotá. Instituto Colombiano Agropecuario, 1981. 70 p. (mimeografiado).
5. ————. Niveles críticos para elementos menores en los suelos. En: INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Programa Nacional de Suelos. Informe de Progreso, 1981.
6. ————. Respuesta de los cultivos de clima frío a la aplicación de micronutrientos. Suelos ecuatoriales (Colombia). v. 9, n. 2, p. 183- 191. 1978.
7. MOLINA, G. C.; FRYE, C. A. Selección y calibración de métodos químicos para la evaluación de elementos menores catiónicos en suelos algodoneros de Colombia. Suelos Ecuatoriales (Colombia). v. 12, n. 1, p. 200- 211. 1982.