

CALIBRACION DE METODOS DE EXTRACCION DE MICRONUTRIMENTOS PARA ANÁLISIS DE SUELOS CON RELACION A LAS NECESIDADES DEL CAFETO

Germán Valencia-Aristizábal*
Héctor Fernando Franco-Alvarez**

RESUMEN

En CENICAFE, en 1985, se desarrollaron estudios de correlación entre la extracción química de micronutrientes en los análisis de suelos y la extracción por la planta, para los elementos Fe - Mn - Zn y Cu. Se escogieron ocho suelos y cinco métodos químicos de extracción para evaluarlos con la correspondiente cantidad extraída por plantas jóvenes de café que crecieron durante 25,5 meses en forma masiva en suelo diluido en arena inerte en proporción de 1:10 en peso, con la adición de solución nutritiva portadora de N - P - K - Ca - Mg - B. Los métodos de extracción empleados fueron:

1. Referencia: EDTA 0,01 M + NH_4OAc 1 N pH 7,0
2. Mehlich (doble ácido): HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N
3. Lindsay & Norvell: DPTA 0,005 M + TEA 0,01 M + Ca Cl_2 0,01 M pH 7,3
4. Trierweiler & Norvell: EDTA 0,01 M + $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 1 M pH 8,6
5. Olsen modificado: NaHCO_3 0,5 + EDTA 0,01 M + 0,01% (P/V) Superfloc 127 pH 8,5.

Los suelos escogidos tenían diferencias de pH, materia orgánica, K, Ca, Mg, Al, P, porcentaje de arcilla y porcentaje de fracción fina (limo + arcilla). El análisis de correlación entre métodos alcanzó niveles significativos y positivos para los cuatro elementos, menos para el hierro en el método 4 que no mostró relación con los demás. Del análisis de regresión entre métodos químicos de extracción y la absorción por el café se vió que podían descartarse los métodos 4 y 5; por lo tanto, los métodos 1, 2 y 3 podrán usarse para posteriores estudios de nutrición en café, pero con el fin de poder ampliar el banco de datos que CENICAFE posee, deben continuarse los análisis con el método 1 (EDTA 0,01 M + NH_4OAc 1 N pH 7,0).

SUMMARY

VALENCIA A. G.; FRANCO A., H.F. Calibración de métodos de extracción de micronutrientes para análisis de suelos con relación a las necesidades del café. CENICAFE (Colombia) 39(4): 95-110.1988.

Several studies were carried out at CENICAFE in 1985. The studies involved the correlation between the chemical extraction of soil micronutrients in the analysis of soil and the extraction carried out by the plant itself, as regards Fe - Mn - Zn and Cu. Eight different samples of soil and five chemical extracting methods were selected, to be compared with the corresponding amount extracted by young coffee trees having grown for 25.5 months, planted in mass and in soil mixed inert sand, in a proportion of 1:10 in weight, having added a nutritive solution containing N - P - K - Ca - Mg and B.

* Jefe de la Sección de Química Agrícola del Centro Nacional de Investigaciones de Café -CENICAFE, Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Auxiliar IV de la Sección de Química Agrícola del Centro Nacional de Investigaciones de Café. CENICAFE, Chinchiná, Caldas, Colombia.

The methods of extraction used were:

1. Reference: EDTA 0.01 M + NH_4OAc 1 N pH 7.0
2. Mehlich (double acid): HCl 0.05 N + H_2SO_4 0.025 N
3. Lindsay & Norvell: DPTA 0.005 M + TEA 0.01 M + CaCl_2 0.01 M pH 7.3
4. Trierweiler & Norvell: EDTA 0.01 M + $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 1 M pH 8.6
5. Modified Olsen: NaHCO_3 0.5 + EDTA 0.01 M + 0.01% (P/V) Superfloc 127 pH 8.5.

The soils selected showed variations in: pH, organic matter, K, Ca, Mg, Al, P, percentage of clay, and in the percentage of fine fraction (silt + clay). Analysis of the correlation between those methods reached significant levels which were positive those four substances; but that was not the case for iron in Method 4 and it showed no relation whatsoever with the others.

Following the regressive analysis between the chemical extracting methods and the absorption carried out by the coffee tree, it was observed that Methods 4 and 5 could be discarded; therefore, Methods 1, 2, and 3 may be utilized for later nutrition studies in coffee. However, the analyses must be continued with Method 1 (EDTA 0.01 M + NH_4OAc 1 N pH 7.0) so as to be able to increase the data bank of CENICAFE.

Additional key words: Colombia, plant nutrition.

INTRODUCCION

En general los suelos contienen cantidades apreciables de micronutrientos especiales en diferentes estados de combinación, pero no siempre están en cantidades suficientes disponibles para las plantas (3, 5, 7, 12, 14, 20).

En los análisis químicos del suelo para fines agrícolas es necesario realizar una extracción que separe una cantidad tal de elemento, similar o proporcional a la que extrae la planta en condiciones normales en el suelo. Para ello se deben efectuar experimentos de calibración (2, 13, 19), los que finalmente permiten diagnosticar deficiencias y/o toxicidades y formular prácticas de manejo tendientes a su corrección o al mantenimiento mismo del nivel de fertilidad.

La disponibilidad de nutrientes para la planta está relacionada con múltiples factores del suelo, del medio ambiente y de la planta misma; por lo tanto su cuantificación es difícil y casi imposible de realizar separadamente de la planta (2, 9). Para entender mejor el fenómeno es necesario integrar los factores antes mencionados, razón por la cual se decidió realizar un estudio químico biológico con la planta de café como indicadora para la calibración que se deseaba obtener.

En Colombia, según el censo cafetero de 1980, hay 1.009.579,5 hectáreas sembradas en café. De éstas, aproximadamente el 70% pertenece a suelos derivados de cenizas volcánicas, relativamente jóvenes. Son suelos ácidos con pH alrededor de 5,5 altamente fijadores de P, ricos en materia orgánica, de mediana fertilidad pero de excelentes condiciones físicas. Son andosoles con

predominancia de alófana en la fracción arcilla y poseen óxidos e hidróxidos de Fe y Al (6, 8). Todos estos factores influyen negativamente en la disponibilidad de los micronutrientes para las plantas, las cuales pueden llegar a mostrar síntomas foliares que indican una deficiencia, señal de un grado avanzado del problema. El exceso de producción conlleva a que se presenten también deficiencias de microelementos.

En el laboratorio de Química Agrícola de CENICAFE, se hace la extracción de micronutrientes (Fe, Mn, Zn y Cu) en suelos por el método del EDTA 0,01 M en NH_4OAc , 1 N, pH 7,0 y se determinan por E.A.A. (Espectrofotometría de Absorción Atómica), pero no se sabe con certeza si esta extracción es representativa de la disponibilidad de dichos elementos para las necesidades del café y qué grado de correlación representa biológicamente. Por lo tanto se hace necesario comparar métodos de extracción de micronutrientes en suelos para su determinación química y definir cuál es el que mejor correlaciona con la extracción que hace la planta de café de los mismos elementos y cuál presenta mayores ventajas para el servicio de análisis de laboratorio.

En la literatura revisada no se encontraron trabajos de investigación sobre metodologías de extracción de micronutrientes en suelos para café y de su relación con aquellos que la planta necesita en sus diferentes estados de desarrollo. Tampoco se expresan límites para definir cuándo hay deficiencia y cuándo toxicidad de cada uno de ellos (niveles críticos).

Guerrero (9) cita que en trabajos de Guerrero y Burbano en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia, de la acción de la alófana sobre la materia orgánica se origina una acentuada disminución en la disponibilidad de Cu, Zn y Mn. También anota que la disponibilidad de los micronutrientes catiónicos es afectada por factores como: altas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados que pueden afectar la disponibilidad del Zn y producir deficiencias de Cu; el encalamiento de suelos ácidos que tiende a disminuir la disponibilidad de Cu, Zn, Mn y Fe, y una alta dosis de fertilización fosfatada la cual puede producir deficiencia de Cu y afectar negativamente la disponibilidad del Zn.

En la zona cafetera son comunes, entre las prácticas de manejo del suelo para el cultivo del café, la fertilización nitrogenada, la fertilización fosfatada y en ocasiones el encalamiento, prácticas que pueden afectar la disponibilidad de micronutrientes para el café.

Este trabajo tuvo como objetivos fundamentales: a) evaluar cinco soluciones extractoras para la determinación de los elementos disponibles en el suelo, Zn, Mn, Fe y Cu; b) hacer un análisis de regresión entre la cantidad de micronutrientes presentes en el suelo, según los métodos preseleccionados y la absorción de ellos por la planta de café, en ocho suelos diferentes y

c) determinar los factores del suelo que influyen en la disponibilidad de los elementos menores para las plantas, con el fin de poder hacer adecuadas recomendaciones y evitar sus deficiencias en el cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El estudio comprendió dos etapas:

A. ETAPA DE LABORATORIO

En ésta se determinaron las cantidades de Fe, Mn, Zn y Cu, en ocho suelos diferentes, mediante las siguientes soluciones extractoras:

1. **Método de referencia** (usado en el laboratorio de CENICAFE)

EDTA 0,01 M + NH_4OAc 1 N pH 7,0; 5 g de suelo y 50 ml de solución extractora, 5 minutos de agitación y reposo durante la noche.

2. **Método de Mehlich** - Carolina del Norte (doble ácido)

HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025 N, 5 g de suelo, 25 ml de solución extractora, 5 minutos de agitación.

3. **Método de Lindsay y Norvell**

DPTA 0,005 M + TEA 0,01 M + CaCl_2 0,01 M pH 7,3; 10 g de suelo, 20 ml de solución extractora, 2 horas de agitación.

4. **Método de Trierweiler y Norvell**

EDTA 0,01 M + $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 1 M pH 8,6; 10 g de suelo, 20 ml de solución extractora, 30 minutos de agitación.

5. **Método modificado de Olsen**

NaHCO_3 0,5 N + EDTA 0,01 M + 0,01% (P/V) superfloc 127 pH 8,5; 2,5 g de suelo, 25 ml de solución extractora, 5 minutos de agitación.

Las suspensiones suelo-solución extractora se filtraron por gravedad a través de papel Whatman 42 y se hicieron las lecturas de los micronutrientes por espectrofotometría de absorción atómica.

B. ETAPA DE INVERNADERO (Prueba biológica)

octubre - diciembre 1988/98

Para los experimentos de extracción de nutrimentos por la planta, se empleó fundamentalmente el método de Neubauer descrito por Valencia (21), que consiste en una extracción exhaustiva por parte de la planta de los nutrimentos de un suelo diluido con un material inerte (diatomita), el cual permite cosechar la materia vegetal total producida (peso seco) y determinar su contenido de nutrimentos para relacionarlo con los resultados de análisis químico en el suelo.

Para esto se utilizaron recipientes de 10 cm de diámetro y 250 ml de capacidad, y en el fondo se colocaron 180 ml de la mezcla suelo y diatomita en proporción 25 : 250 g, donde se sembraron 40 semillas germinadas de café. Por medio de un cordón de algodón y desde un plato colocado en el fondo de cada recipiente se suministró agua por capilaridad a la mezcla de suelo y diatomita. Con periodicidad de dos ó tres meses se adicionó a cada recipiente un volumen de 25 ml de solución nutritiva sin los elementos Fe, Mn, Zn y Cu. La solución estaba constituida de la forma siguiente:

Ca (NO ₃) ₂ · 4 H ₂ O 1 M (236 g/l)	5 ml/litro
K NO ₃ 1 M (101 g/l)	5 ml/litro
Mg SO ₄ · 7 H ₂ O 1 M (247 g/L)	2 ml/litro
K H ₂ PO ₄ 1 M (136 g/l)	1 ml/litro
H ₃ BO ₃ (2,86 g/l)	1 ml/litro

Suelos

Se utilizaron para el ensayo 8 suelos (Tabla 1), cuatro de ellos derivados de cenizas volcánicas, Andepts (Naranjal orgánico e inorgánico, Fondesa y Fresno orgánicos). Los cuatro restantes corresponden a un mismo suelo derivado de anfibolitas y con deposición de ceniza volcánica, en lotes a los cuales se les habían alterado sus características químicas por diferentes tratamientos de fertilización recibidos anteriormente ya que fueron usados en ensayos de encalamiento. Los tratamientos fueron: 300 g de superfosfato triple/planta cada 6 meses, 250 g/planta de óxido de zinc cada 6 meses, 500 g de cal/planta/año, y suelo testigo sin fertilizar.

Para la selección de los suelos se tuvieron en cuenta principalmente las diferencias de: pH, M.O., P, K, Ca, Mg, Al, porcentaje de arcilla y porcentaje de fracción fina (limo + arcilla).

En la Tabla 2 se presenta el análisis físico-químico de los suelos del estudio y se pueden observar las diferencias mencionadas.

Determinación de Fe - Mn - Zn y Cu

Las determinaciones se hicieron sobre los extractos obtenidos según los cinco métodos en estudio para Fe - Mn - Zn y Cu por espectrofotometría de absorción atómica.

TABLA 1. Información general sobre ocho suelos usados en el estudio de correlación entre la extracción de micronutrientes en los análisis de suelos y la extracción por la planta. Cenicafé, 1985

Suelo	Unidad	Horizonte	Clasificación	Procedencia	Observaciones
1	Chinchiná	Orgánico	Typic - Dystrandept	Hacienda Naranjal Chinchiná, Caldas	Lote 64, sin fertilización
2	Chinchiná	Inorgánico	Typic - Dystrandept	Hacienda Naranjal Chinchiná, Caldas	Lote 84, sin fertilización
3	Fondesa	Orgánico	Eutrandept	Subestación Albán El Cairo, Valle	Sin fertilización
4	Fresno	Orgánico	Typic - Dystrandept	Hacienda Soacol Fresno, Tolima	Sin fertilización
5	Veinte	Orgánico	Dystropep	Lote enclamiento CENICAFE, Chinchiná	Testigo. Orilla del lote
6	Veinte	Orgánico	Dystropep	Lote enclamiento CENICAFE, Chinchiná	Aplicación anterior de superfosfato: 300 g/planta cada 6 meses.
7	Veinte	Orgánico	Dystropep	Lote enclamiento CENICAFE, Chinchiná	Aplicación anterior de óxido de zinc: 250 g/planta cada 6 meses.
8	Veinte	Orgánico	Dystropep	Lote enclamiento CENICAFE, Chinchiná	Aplicación anterior de cal 500 g/planta/año.

TABLA 2. Algunas características físico-químicas de los suelos usados en el estudio de correlación entre la extracción de micronutrientes en los análisis de suelos y la extracción por la planta. Cenicafé. 1985

Suelo	pH			M.O. %	K	Ca	Mg	Al	Suma bases	p ppm	Arcilla	Limo	Arena	Textura	Limo + Arcilla
	KCl	H ₂ O	NaF 1 N												
1	4,2	4,5	11,6	10,1	0,18	0,6	0,1	0,6	0,9	2	19,3	24,9	55,8	FA	44,2
2	4,4	5,9	11,0	0,5	0,52	1,9	0,6	0,3	3,0	1	13,9	37,7	48,4	F	51,6
3	4,6	6,2	10,3	2,0	0,67	7,2	2,0	0,1	9,9	2	33,5	29,5	37,0	FAr	63,0
4	4,5	4,9	12,3	13,1	0,11	0,2	0,0	0,3	0,3	0	17,7	33,3	49,0	F	51,0
5	4,2	5,8	10,0	1,8	0,11	5,9	2,1	0,1	8,1	4	13,0	27,6	59,4	FA	40,6
6	2,9	4,5	9,8	1,8	0,39	1,6	0,3	3,3	2,3	347	16,5	22,7	60,8	FA	39,2
7	3,2	4,8	9,3	3,6	0,93	1,4	0,6	1,0	2,9	535	13,7	22,3	64,0	FA	36,0
8	3,7	5,4	10,0	1,8	0,43	6,3	0,7	0,5	7,4	160	17,3	28,7	54,0	FA	46,0

Cosecha de la masa vegetal producida

La cosecha de la masa vegetal se efectuó a los 25,5 meses de edad de las plantas de café. El material vegetal (raíz, tallo, hojas) que había crecido en las condiciones descritas, se secó a 65°C, se determinó su peso seco, se molió y se pasó por malla Nro. 20 para someterlo a análisis químico completo.

Análisis químico del material vegetal

Se siguió la metodología empleada en el laboratorio de Química Agrícola de Cenicafe: calcinación por dos horas a 475°C de las muestras secas y molidas; tratamiento de las cenizas con HCl y agua caliente, incremento volumétrico a 25 ml para completar la muestra. Luego se extrajeron alícuotas para realizar las lecturas de K, Ca y Mg. El Fe, Zn, Mn y Cu se leyeron en la solución original; las lecturas en ambos casos se realizaron por E.A.A. El fósforo, por colorimetría con molibdovanadato de amonio a 420 nm y el nitrógeno por semi-micro Kjeldahl.

De los análisis de suelos (Tabla 2) se tuvieron en cuenta como variables independientes para los análisis de regresión con los nutrientes minerales en la masa vegetal cosechada en el estudio, los siguientes factores: pH en agua, pH en KCl, pH en NaF, materia orgánica, fósforo, calcio, magnesio, suma de bases, % de arcilla y fracción fina (% de limo + arcilla).

RESULTADOS Y DISCUSION

A. Extracción química

En la Tabla 3 se presentan en ppm los promedios de cuatro determinaciones de los micronutrientes en estudio, para cada uno de los cinco métodos en los ocho suelos seleccionados. Estos datos se usaron como variables independientes en los análisis de regresión con los nutrientes absorbidos por las plantas (extracción biológica).

La extracción de los micronutrientes por los métodos en comparación tuvo el siguiente orden decreciente:

Hierro: 5 - 1 - 4 - 2 - 3

Manganeso: 1 - 2 - 4 - 5 - 3

Zinc: 1 - 2 - 5 - 3 - 4

Cobre: 4 - 1 - 5 - 3 - 2

TABLA 3. Cantidades de Fe, Mn, Zn y Cu en ppm en ocho suelos, determinadas por cada uno de los cinco métodos en estudio. Promedios de cuatro determinaciones, CENICAFE. 1985.

Suelo	Fe						Mn					
	Métodos					\bar{X} Suelos	Métodos					\bar{X} Suelos
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
1	143	13	40	490	189	175	17,0	10,0	3,8	19,3	7,5	12
2	109	42	14	104	80	70	19,0	7,0	0,8	6,1	5,0	8
3	270	66	91	11	236	175	89,0	28,0	27,0	24,1	20,0	38
4	107	13	25	297	105	109	5,0	2,0	0,3	2,8	1,3	2
5	343	199	116	54	338	210	83,0	52,0	36,0	28,8	30,8	46
6	585	269	197	943	785	556	13,0	15,0	8,1	8,2	8,0	11
7	1020	483	217	843	1738	860	25,0	22,0	2,5	13,1	17,0	16
8	515	218	275	147	613	354	22,0	24,0	15,5	12,4	11,5	17
\bar{X}	387	163	122	286	516		34,1	20,0	11,8	14,4	12,6	

Suelo	Zn						Cu					
	Métodos					\bar{X} Suelos	Métodos					\bar{X} Suelos
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
1	6,5	4,4	2,2	8,6	5,6	6	4,5	0,4	1,0	12,2	4,0	4
2	5,3	1,1	0,1	23,0	2,3	6	0,9	0,2	0,1	2,8	0,1	1
3	5,5	2,9	1,8	6,5	3,3	4	5,7	2,1	2,3	6,2	5,0	4
4	3,0	1,9	0,4	3,9	2,5	2	3,2	0,2	0,4	8,6	2,6	3
5	2,8	2,2	1,0	1,8	1,6	2	19,1	9,6	12,2	20,0	17,5	16
6	3,2	2,2	1,3	3,0	2,5	2	14,9	7,2	8,4	11,7	15,5	12
7	912,5	650,4	462,5	340,0	555,0	584	14,9	6,2	3,9	17,9	16,5	12
8	2,7	1,9	1,2	2,3	1,8	2	19,5	9,9	13,4	20,0	18,8	16
\bar{X}	117,7	83,4	58,8	48,3	71,8		10,3	4,5	5,2	12,4	10,0	

El análisis de correlación entre métodos para cada elemento determinó valores positivos y significativos entre ellos para los cuatro nutrientes, con excepción del método 4 para hierro que no mostró ninguna relación con los demás métodos.

De los resultados de la Tabla 3 se destacan los casos siguientes:

- a) Los altos niveles de hierro de los suelos 6 y 7 obtenidos con los métodos 1, 4 y 5, y para el suelo 8 con los métodos 1 y 5, los cuales contrastan con los contenidos considerados normales por Mortvedt (18) en suelos colombianos, entre 1 y 58 ppm y con los de las tablas de la CVC (4) entre 100 y 300 ppm. No obstante, los valores de Fe de la Tabla 3 que van desde 11 hasta 1738 ppm, son inferiores a los extremos obtenidos por Agreda et al (1) en suelos de llanura en Nariño. Estos suelos lo único que tienen en común entre sí, pero diferentes con los otros cinco (Tabla 2) es el bajo pH en KCl y el muy alto nivel de fósforo (Bray II). Los métodos 1, 4 y 5 emplean EDTA y Quintero (20) anota que este reactivo puede extraer hierro acomplejado con la materia orgánica.
- b) Por el contenido de manganeso, los suelos 3 y 5 sobrepasan apreciablemente los contenidos de los demás suelos y los datos que como normales traen Mortvedt (18) de 1 a 7,2 ppm, los de la CVC (4) de 10 a 15 ppm en suelos ácidos y los de Agreda et al (1) en suelos de Nariño que traen entre trazas y 8,8 ppm. Estos dos suelos son los de mayor contenido de magnesio (Tabla 2).
- c) Los altos niveles de zinc obtenidos en el suelo 7 con todos los métodos, sin embargo, no son de extrañar por cuanto la muestra de suelo corresponde a parcelas en donde se había hecho aplicaciones de 250 g de óxido de zinc por planta cada seis meses. Los demás niveles de zinc caen, con algunas excepciones, dentro de las tablas de la CVC (4) de 2 a 4 ppm como normales, los de 0,3 a 9,2 ppm que trae Mortvedt (18) y los de Agreda et al (1) entre 0,5 y 1,5 ppm para suelos de Nariño.
- d) Los niveles normales de cobre en suelos pueden variar entre 0,3 y 3,0 ppm según Mortvedt (18), entre 4,4 y 10,2 ppm según Agreda et al (1) y entre 4 y 20 ppm según la CVC (4), y los resultados obtenidos varían entre 0,1 y 20 ppm, que están entre los extremos mencionados. En suelos de Nicaragua se encontraron valores de cobre entre 6,9 y 47,7 ppm según cita que de Soto hacen Molina & Frye (17).

Al hacer el análisis de regresión de los factores de suelo sobre la extracción de los micronutrientes por los cinco métodos, se encontraron los valores de regresión presentados en la Tabla 4.

TABLA 4. Coeficiente de regresión entre micronutrientos químicamente extraídos del suelo (Y) y los factores del suelo (X). CENICAFE, 1985.

Factor de suelo (X)	Micronutrientos extraídos químicamente del suelo (Y)			
	Fe	Mn	Zn	Cu
pH en agua	-0.85**(4)	0.73*(1)	-	-
pH en NaF 1N	-0.85**(2)	-	-	-
Materia orgánica	-	-	-	-
% Arcilla	-	-	-	-
Limo + arcilla	-	+	-	-

* Significativo al 5%

** Significativo al 1%

() método

pH en agua con:

Hierro: Todas las regresiones fueron negativas, es decir, hubo mayor extracción a pH bajos (inferiores a 6,0). El método 4 alcanzó un valor de $r = 0,85^{**}$, altamente significativo. Agreda *et al* (1) también encontraron valores de r negativos y significativos del Fe con el pH del suelo.

Manganeso: Todas las regresiones fueron positivas. El mayor valor de $r = 0,73^*$ se obtuvo con el método 1; el menor valor, 0,40 se obtuvo con el método 4.

Zinc y Cobre: Ningún valor alcanzó niveles de significación, pero todos fueron negativos. Haq & Miller (10) encontraron que el pH era el factor más influyente de la disponibilidad de Mn, Zn y Cu con valores de r negativos y significativos.

pH en NaF 1N (Índice del contenido de alófana)

Todos los valores de r fueron negativos, lo cual indica la influencia de la alófana en la extracción química de los micronutrientos, como lo señala Guerrero (9) para Cu, Zn y Mn. El método 2 dio un valor de $r = 0,85$ con el Fe.

Materia orgánica

No hubo relación con los micronutrientos extraídos por los métodos en estudio; sin embargo, los valores negativos de r concuerdan con Hodson (11)

y con las anotaciones de López (15) acerca de los ácidos húmicos y fúlvicos que pueden actuar como quelatantes de los micronutrientes.

Porcentaje de arcilla

En todos los casos las correlaciones fueron negativas pero no significativas.

Fracción fina del suelo (limo + arcilla)

Para hierro, zinc y cobre los valores de r fueron negativos y para manganeso fueron positivos, pero ninguno alcanzó niveles de significancia.

B. Extracción biológica (Absorción)

En la Tabla 5 se presentan los resultados de los análisis químicos efectuados al material vegetal cosechado en cada suelo. Las cantidades obtenidas fueron disminuídas en los valores de los respectivos nutrientes encontrados en las plantas de café que crecieron en diatomita sola, lo cual da los "nutrientes netos" absorbidos por las plantas de café (variables dependientes).

De los análisis de suelos (Tabla 2) se tuvieron en cuenta como variables independientes para los análisis de regresión con las variables dependientes de la Tabla 5, los siguientes factores: pH en agua, pH en KCl, pH en NaF, Materia Orgánica, fósforo, calcio, magnesio, suma de bases, % de arcilla y fracción fina (% limo + arcilla).

TABLA 5. Nutrientes minerales (% ó ppm) en la masa vegetal (café) cosechada en el estudio de extracción de micronutrientes. CENICAFE, 1985.

Suelo (Tratamiento)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	%					ppm			
Diatomita	1,45	0,150	1,50	0,60	0,31	290	50	100	15
1	1,58	0,186	1,28	0,51	0,23	240	97	83	13
2	1,70	0,186	1,31	0,60	0,28	474	136	54	13
3	1,51	0,102	1,29	0,76	0,32	605	291	49	13
4	1,73	0,083	1,28	0,50	0,25	385	63	42	11
5	1,37	0,119	1,33	0,77	0,29	922	331	59	18
6	1,42	0,172	1,49	0,58	0,30	965	153	57	19
7	1,24	0,208	1,52	0,51	0,26	950	132	570	19
8	1,31	0,141	1,47	0,65	0,28	1017	182	79	25

En la Tabla 6 se presentan los valores de r que alcanzaron niveles significativos entre métodos de extracción o factores de suelo (X) y los elementos absorbidos (Y).

Los niveles de N, P, K y Mg en el material vegetal cosechado, que incluye hojas, tallos y raíces (Tabla 5), pueden considerarse bajos, con excepción del P, según los contenidos foliares normales para hojas de café (22), sin embargo, debe mencionarse que el material vegetal cosechado ya estaba muy lignificado, lo cual puede explicar por lo menos el bajo nivel de nitrógeno obtenido.

Para los elementos menores, si se comparan con los datos que Mortvedt (18) da para hojas maduras, la mayoría se pueden clasificar como altos para Fe; dentro del rango normal estarían el Mn, el Zn y el Cu (excepto el zinc del suelo 7); sin embargo, el material vegetal mostró en forma muy generalizada una serie de síntomas atribuibles a deficiencias de Fe, de Mn y de Zn. La que resultó más notoria fue la deficiencia de Fe. Parece confirmarse que el hierro total en la planta, aunque sea alto y refleje los niveles de hierro en el suelo, puede estar en forma no fisiológicamente activa (forma férrica).

TABLA 6. Valores de los coeficientes de regresión que fueron significativos en la cosecha de masa vegetal. CENICAFE, 1985.

Método de extracción ó factor de suelo (X)	Elementos absorbidos por la masa vegetal (café) (Y)						
	N	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
Fe (método 1)	-0,80**						
Fe (método 2)	0,74*			0,72*	0,83**		
Fe (método 3)				0,77*	0,80*		
Fe (método 5)	-0,77*			0,92**			0,89**
Mn (método 1)					0,90**		
Mn (método 2)						0,90**	
Mn (método 3)						0,89**	
Mn (método 4)						0,95**	
Mn (método 5)						0,76*	
Zn (5 métodos)						0,85**	
Cu (método 1)					0,99**		
Cu (método 2)				0,88**			0,79*
Cu (método 3)				0,92**			0,81*
Cu (método 5)				0,84**			0,81*
pH en NaF				0,90**			0,80*
pH en agua				-0,84**			
Ca		0,80*				0,74*	
Σ bases		0,89**				0,92**	
Materia orgánica		0,89**				0,94**	
P		-0,84**	-0,80*				
Mg		-0,80*					
						0,94**	

* Significativo al 5% ** Significativo al 1%

En la mayor absorción de Mn por la planta, se refleja el alto nivel de Mn de los suelos 3 y 5, que son los más ricos en Mg, lo cual también se explica por el coeficiente de regresión positivo y altamente significativo entre el Mg del suelo y el Mn absorbido. Efecto similar reportan Lora y Riveros (16) en cita que hacen de Maas et al.

Según los datos de la Tabla 6, la absorción de micronutrientes por el café está relacionada con los métodos químicos de extracción en la siguiente forma:

Hierro, con los métodos 1, 2 y 3

Manganeso, con los cinco métodos

Zinc, con los cinco métodos

Cobre, con los métodos 1, 2, 3 y 5

Por los resultados de los análisis de regresión entre métodos, el método 4 debe descartarse puesto que en el caso del hierro no mostró ninguna relación con los demás. Esto puede significar que independientemente de la cantidad absoluta extraída por los otros cuatro métodos en estudio puede adoptarse cualquiera de éstos para los estudios de nutrición del café.

Por el poder de extracción de micronutrientes del suelo se destaca como más extractivo de Mn y de Zn el método 1, el cual es también el segundo más extractivo de Fe y de Cu; por su parte el método 3 es el menos extractivo para Fe y Mn y el segundo menos extractivo de Zn y Cu.

Por la relación entre los métodos químicos de extracción de micronutrientes del suelo y la extracción biológica (absorción por el café), se ve que pueden descartarse los métodos 4 y 5.

Al considerar los coeficientes negativos de regresión entre el poder de extracción de los métodos y los factores pH en agua, contenido de materia orgánica y contenido de arcilla, de los suelos, debe escogerse el método 1 (de referencia) para continuar estudios de calibración de análisis de suelos y de determinación de niveles críticos para este cultivo en suelos ácidos, como son la casi totalidad de los suelos cafeteros de Colombia. Además, si el método 1, el que viene empleándose en el laboratorio de Química Agrícola de CENICAFE, se destaca favorablemente entre los métodos comparados, es razonable seguir usándolo para poder ampliar el banco de datos obtenidos con la misma metodología de análisis.

En estudios posteriores de calibración de análisis de suelos para café vale la pena tener en cuenta la influencia que algunos factores del suelo mostraron en la absorción de algunos nutrientes por esta planta; entre ellas las siguientes relaciones:

- a) La absorción de Ca y de Mg dependen positivamente del pH del agua, de la suma de bases y del contenido de calcio del suelo.
- b) La absorción de nitrógeno se relaciona negativamente con el contenido de hierro del suelo.
- c) La materia orgánica influye negativamente en la absorción de Ca y de Mg.
- d) La absorción de Zn está positivamente relacionada con el Fe del suelo.
- e) La absorción de Fe está positivamente relacionada con el cobre del suelo.

BIBLIOGRAFIA

1. AGREDA, J.L.; OTERO C., D.; ORTEGA E., J. Disponibilidad de micronutrientes bajo condiciones de cultivo, bosques y pradera en suelos de la llanura del Pacífico, Depto. de Nariño. *Revista Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 12(1):14-23. 1982.
2. BORNEMIZA, E. Metodología par la investigación de micronutrientes. *Revista Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 9(2):148-154. 1978.
3. CAJUSTE, L. J. Acidez del suelo y encalado. *In: Química de suelos con un enfoque agrícola. Chapingo (México). Colegio de Postgraduados. 1977. p.135-181.*
4. CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA (CVC). Cali (Colombia). Estudio detallado de suelos finca La Sirena. Cali, CVC, 1984.
5. DENNIS, E.J. Micronutrientes uma nova dimensão na agricultura. Campinas (Brasil), Fundação Cargil, 1982. 16 p.
6. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Areas sembradas en café. División de Investigaciones Económicas. Departamento de Información Cafetera II (12). Bogotá, 1981. 4 p.
7. GARABITO, H.F. Microelementos. *In: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá (Colombia). Propiedades químicas de los suelos. Bogotá. IGAC. 1979. p. 305-320.*
8. GOMEZ A., A.; ALARCON C., H. La zona cafetera colombiana. *In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná (Colombia). Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, CENICAFE, 1975. p. 5-10.*
9. GUERRERO, R.R. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. *In: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Fertilidad de Suelos. Diagnóstico y control. Bogotá (Colombia). 1980. p. 141-199.*
10. HAQ, A.V.; MILLER, M.H. Prediction of available soil Zn, Cu and Mn using chemical extractants. *Agronomy Journal* 64(6):779-782. 1972.
11. HODSON, J.F. Micronutrients in Soils. *Advances in Agronomy. Vol. 15:199-159. 1983.*
12. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Bogotá (Colombia). Fertilidad de suelos y fertilizantes. Bogotá (Colombia), ICA, abril 1982, p. 25-130 (Compilación del curso Nro. 45 de Postgraduados).

13. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Bogotá (Colombia). Análisis de suelos para micronutrientes disponibles. In: Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 4 ed. Bogotá. IGAC. 1979. p. 154-176.
14. LOPEZ, J.G. Funciones de algunos micronutrientes en las plantas. Revista Suelos Ecuatoriales (Colombia). 9(2):141-148. 1978.
15. LOPEZ, H.D. Aspectos fisico-químicos de la materia orgánica del suelo. Revista Suelos Ecuatoriales (Colombia) 13(1):1-13. 1983.
16. LORA, S.R.; RIVEROS, C. Problemas fisiológicos de plantas en suelos ácidos. Revista Suelos Ecuatoriales (Colombia) 3(1):24-42. 1971.
17. MOLINA, G.C.; FRYE, C.A. Selección y calibración de métodos químicos para la evaluación de elementos menores catiónicos en suelos algodoneros de Colombia. Revista Suelos Ecuatoriales (Colombia) 12(1):200-215. 1982.
18. MORTVEDT, J.J. Occurrence of micronutrients in rocks, soils, plants and fertilizers. Revista Suelos Ecuatoriales (Colombia) 9(2):134-140. 1978.
19. MORTVEDT, J.J. Micronutrient soil testing in the Unites States. Revista Suelos Ecuatoriales (Colombia). 9(2):165-170. 1978.
20. QUINTERO, Q.J. Elementos micronutrientes en algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile y Colombia. Revista Colombiana de Química. 1(1):3-18. 1971.
21. VALENCIA A., G. Método de Neubauer para ensayos biológicos de fertilidad de suelos. Univesidad de Sao Paulo. Piracicaba (Brasil). 1965. v.p. (Apuntes de clase).
22. VALENCIA A., G. Efecto de la fertilización con N, P, K a tres niveles en la composición mineral de las hojas del cafeto. CENICAFE (Colombia) 28(4):119-138. 1977.