

DISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIENTES EN SUELOS DE CUATRO LOCALIDADES DE LA SERIE BERMEO EN LA CUENCA ALTA EL RÍO BOGOTÁ

AVAILABILITY OF MICRONUTRIENTS IN SOILS OF FOUR LOCALITIES OF BERMEO SERIE IN HIGH BASIN OF BOGOTA RIVER

Rodrigo Lora Silva¹; Javier Torres Galindo²; Rolando Bolaños Torres²

RESUMEN

Para desarrollar los planes de fertilización es necesario conocer la disponibilidad de los micronutrientes esenciales para la planta. Por tanto, bajo condiciones de casa de malla, se determinó la disponibilidad de hierro, cobre, manganeso, cinc, boro y molibdeno en cuatro suelos de la serie Bermeo en el occidente de la Sabana de Bogotá. Taxonómicamente los suelos se clasificaron como Pachic Melanudands. La planta indicadora fue *Fatua fatua* variedad Cayussa. La solución extractora para boro fue fosfato monocálcico 0.008 M; para hierro, cobre, manganeso y cinc HCl 0.05 N más H₂SO₄ 0.025 N. El diseño estadístico fue de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los niveles en kg/ha fueron: boro 0-1-2; cinc 0-5-10; hierro 0-5-10; manganeso 0-8-16; molibdato de amonio (54% Mo) 0-1-2; cobre 0-8-16. Se cosechó al iniciar el espigamiento y se determinó peso seco y fresco de raíz y parte aérea y longitud de ésta. Posiblemente por el manejo realizado en cada suelo hubo diferencias en CIC, materia orgánica, bases intercambiables, fósforo, azufre, manganeso, cinc y boro. En peso aéreo hubo diferencias entre los suelos; la longitud aérea y el peso fresco aéreo y de raíz mostraron diferencias entre los suelos 1-2-4. Entre los micronutrientes limitantes están Mo, Zn, Fe,

Mn y Cu. En el tratamiento testigo se presentó en la planta deformación de los estomas, anormal desarrollo del parénquima y mala distribución de los cloroplastos.

Palabras clave: micronutrientes, avena, andisol.

SUMMARY

To develop fertilization programs it is necessary to know the availability of essential micronutrients. Under screen house conditions the availability of Fe, Cu, Mn, Zn, B and Mo on four soils of Bermeo serie on the west of Bogota Savana was evaluated. The soils were classified as Pachic Melanudands. *Avena fatua*, Cayussa variety was utilized as indicator plant. Boron was extractec with 0.008 M. calcium phosphate solution; Fe, Cu, Mn and Zn were extracted with HCl 0.05 N + H₂SO₄ 0.025 N. A randomized complete block design with three reps was utilized. The treatments (kg/ha) were B: 0-1-2; Zn: 0-5-10; Fe: 0-5-10; Mn: 0-8-16; ammonium molybdate (54% Mo) 0-1-2; cooper: 0-8-16. At the beginning of spiking the plants were harvested to evaluate dry and wet weigh of root and aerial portion and their lengh of this. It was found differences among soils on CIC, organic matter, exchange bases, P, S, Mn, Zn, and B perhaps to the management of each one. On dry weigh of aerial portion it was found differences among soils; aerial length and aerial and root wet weigh showed difference among 1-2-4 soils. The Mo, Zn, Fe, Mn and Cu content is limitant.

¹ Ingeniero Químico, M.Sc. Docente Investigador. UDCA. Dirección para correspondencia: Calle 222 No. 54-37. PBX 6684700, Bogotá, rlor@udca.edu.co

² Ingenieros Agrónomos. U.D.C.A.

In the check the plant showed stoma deformation, abnormal develop of parenquima and bad distribution of cloroplasts.

Key word: micronutrients, avena, andisol.

INTRODUCCIÓN

Los suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) cubren una gran extensión de América Central y América del Sur. En Colombia están distribuidos en la región Andina, especialmente en la cordillera central y parte de la oriental. Las características generales y dominantes del medio natural donde se encuentran los Andisoles en Colombia, se tipifican por su localización en la región Andina del país y zonas muy húmedas pluviales y húmedas, que constituyen pisos latitudinales que varían entre premontano (24°C) hasta el montano (6-12°C) y donde los regímenes de humedad del suelo están representados por el údico. Los regímenes de temperatura abarcan desde el isofrígido (<10°C) hasta el hisopertérmico (22-27°C). Los materiales orgánicos se presentan en cantidades muy altas (>6% de C.O.), altas (2,5-6% de C.O.) y medianas (1,5-2% de C.O.). La erosión puede catalogarse en los grados de ligera a moderada debido al poder cementante de la materia orgánica. El material parental predominante es el piroclástico y fundamentalmente las cenizas volcánicas. Dentro de las características químicas resaltan los pH ligeramente ácidos ó ácidos, la baja saturación de bases, las altas capacidades de intercambio catiónico, la elevada retención fosfórica, al igual que los valores altos de materiales orgánicos con dominaciones de compuestos de bajo grado de polimerización y abundantes huminas. Las características físicas más resaltantes son densidades aparentes bajas, alta superficie específica, buena infiltración y alta retención de humedad. La dinámica de los elementos menores de estos suelos está estrechamente ligada con la evolución de los materiales orgánicos y el humus (Malagón, 1995).

La zona que comprende la serie Bermeo (Andisoles) tiene los siguientes límites: Por el norte, el municipio de Villapinzón; por el sur, el municipio de Usme; por el oriente, los cerros de Monserrate y Guadalupe y por el occidente, un cordón de montañas que unen las poblaciones de Facatativá, Subachoque y La Pradera (IGAC, 1980).

La altura sobre el nivel del mar varía entre 2.500 y 3.900 metros y está localizada en la cuenca alta del Río Bogotá. La superficie de esta serie es de 6590 hectáreas, con relieve ondulado y pendientes de 3% a 12%. Los suelos son de textura franco arenosa y franca, principalmente con buena infiltración y conductividad hidráulica, estructura granular, ácidos, ricos en materia orgánica, la cual disminuye con la profundidad. En el desarrollo de las características de estos suelos ha influido el material parental compuesto de depósitos de cenizas volcánicas. Los principales cultivos son papa, hortalizas y pastos (IGAG, 1980; Malagón, 1995; Peña, 1997).

Bajo condiciones de invernadero o de casa de malla y empleando una planta indicadora adecuada es posible evaluar en forma rápida la fertilidad natural del suelo, al igual que la disponibilidad para la planta de nutrimentos esenciales, tales como Ca, Mg, S, N, P, K, Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo y Cl. Como plantas indicadoras han dado buenos resultados la lechuga romana, la espinaca, el girasol, el sorgo, el maíz, la avena y algunas leguminosas. La información obtenida permite llevar a cabo investigación en campo con los cultivos que se desea estudiar para determinar las recomendaciones de fertilización, de acuerdo a las series de suelo bajo estudio (Tisdale *et al.* 1993; Villar, 1980; Castillo, 1985; Grandett, 1979; Ávila & Rodríguez 2000; Soc Col. de la Ciencia del Suelo, 1998).

De los 18 elementos esenciales para las plantas, incluyendo el Níquel, existen siete elementos denominados micronutrimentos debido a la pequeña cantidad tomada por la planta. Estos elementos son: Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo, Cl. A continuación se resumen las principales funciones de estos micronutrimentos: El hierro forma parte de las hemoproteínas y activa numerosas enzimas; participa en la síntesis y el desarrollo de los cloroplastos. El manganeso participa en la fotosíntesis, es parte de muchas enzimas y activa y modula otras enzimas. El cobre hace parte de enzimas como la plastocianina, la superoxidismutasa, el citocromo y el ascorbato oxidasa, la lactasa, la fenolasa y el amino oxidasas. El zinc forma parte de enzimas tales como alcohol deshidrogenasa, superoxidismutasa, anhidrasa carbónica y activa varias enzimas como las de la síntesis del ácido indolacético. El boro forma complejos con compuestos orgánicos facilitando su transporte, participa en el crecimiento y la división celular, en el metabolismo de los

ácidos nucleicos, carbohidratos y proteínas, además esta relacionado con la polinización. El molibdeno hace parte de enzimas como la nitrogenasa y la nitrato reductasa. Finalmente, el cloro participa en la fotosíntesis, en la regulación osmótica y en la asimilación de otros elementos como las bombas ATP-asa (Salisbury & Ross, 1994; Marschener, 1986; Hewitt, 1983; López, 1998).

Algunos de los factores que afectan la disponibilidad de los micronutrientes son pH, materia orgánica, humedad del suelo, interacción entre sí con otros elementos, enclavado, actividad microbiológica y algunas prácticas agrícolas como el riego inadecuado o la inundación del suelo, como ocurre en el arroz de riego. El único micronutriente que aumenta la disponibilidad para la planta al elevar el pH es el molibdeno. Por su parte, en este caso, se pueden inducir deficiencias de otros micronutrientes como cuando se hace un inadecuado enclavamiento. Respecto a la materia orgánica, los compuestos orgánicos del suelo que forman complejos estables con los iones metálicos son: 1) Compuestos bioquímicos que se hallan en los organismos vivos, como ácidos orgánicos, polifenoles, aminoácidos, proteínas y polisacáridos; 2) Polímeros complejos formados por acciones de síntesis secundaria, grupo que incluye los ácidos húmicos y fúlvicos. Los metales que se encuentran en complejos solubles son los asociados con moléculas bioquímicas individuales como los ácidos orgánicos. Los complejos metálicos con ácido fúlvico tienen alta solubilidad en agua. Por su parte los micronutrientes que en el suelo están como complejos insolubles con la materia orgánica son los unidos, particularmente a los ácidos húmicos. Los suelos orgánicos están entre los que más comúnmente presentan deficiencias de varios micronutrientes como es el caso del cobre y el boro (Lora, R. 1998; López, 1998; Burbano, 1998). Cuando hay deficiencias de micronutrientes, se observan una serie de efectos celulares y subcelulares, los cuales, de acuerdo a Hecoitt (1983), se pueden resumir de la siguiente manera: la deficiencia de hierro ocasiona el cese de la división celular y la emisión de los primordios florales y afectando el tamaño de los cloroplastos y el número de sacos de granos, mientras que la del manganeso afecta los cloroplastos, mostrando una hipertrofia de las células de la epidermis, lo cual ocasiona una formación excesiva del ácido oxálico. La separación de las células del parénquima cercano a los estomas produciendo cavi-

dades grandes es causada por la deficiencia del cobre; los tejidos afectados muestran paredes gruesas y los vasos del xilema son pequeños y no lignificados; en general se observa poca lignificación de los tejidos. El zinc afecta la diferenciación celular, observándose deformación celular y plastidios encogidos y pérdida de almidón. La deficiencia de boro, se manifiesta en las haces vasculares, al notarse una excesiva división celular con células de paredes delgadas que se rompen fácilmente. El molibdeno afecta a los cloroplastos, ocasionando malformaciones al nivel de membranas, de grana y de tilacoides. En tomate el citosol de las células mesofilares se torna de color bronce, al igual que la hoja, con el citosol coagulado cuando existe deficiencia de cloro.

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la disponibilidad para la planta de los micronutrientes Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo, en suelos de cuatro localidades de la serie Bermeo, a través del efecto de los tratamientos en algunos parámetros, como peso seco y fresco de raíz y parte aérea, al igual que la longitud de la parte aérea de la planta de avena utilizada como indicador.

MATERIALES Y MÉTODOS

En condiciones de casa de malla, se estableció un ensayo para evaluar la disponibilidad natural de micronutrientes en cuatro suelos procedentes de sendas localidades de la serie Bermeo, en la parte occidental de la Sabana de Bogotá, entre los municipios de Facatativá y Subachoque. A cada suelo se analizó pH, materia orgánica, bases intercambiables, textura, Fe, Cu, Mn, Zn, B. Las técnicas de análisis fueron (Lora, 1998 y Lora & Gaitán, 2002): pH: potenciómetro, con relación suelo: agua 1:2,5. Carbón orgánico: Walkley-Black. Fósforo: Bray II. Calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables: extracción con acetato de amonio y determinación por espectro-fotometría. Aluminio intercambiable: extracción con KCl y determinación por volumetría. Boro: Extracción, con fosfato monocálcico 0,008 M y determinación por colorimetría; Hierro, cobre, manganeso y cinc: Método de Melich y determinación por espectrofotometría. CIC efectiva: suma de Ca, Mg, K, Na y Al. En la localidad tres se hizo la descripción del perfil del suelo y los análisis físico químicos para así hacer la correspondiente clasificación

taxonómica. Los suelos se secaron a temperatura ambiente, se molieron y se tamizaron a 2 mm y en la casa de malla de la U.D.C.A., 2570 m.s.n.m. y temperatura media de 13,5°C, se colocaron en las unidades experimentales, constituidas por potes plásticos de 2 L de capacidad en la cantidad de 1900 g/pote. Con base en el análisis de los suelos (Tabla 1), se aplicaron 40 kg/ha de nitrógeno; 25 kg/ha de K₂O para los suelos dos y cuatro; 25 kg/ha de P₂O₅ para el suelo uno; 100 para los suelos dos y cuatro y 60 para el suelo tres. Se mantuvo el suelo aproximadamente a capacidad de campo durante el tiempo que duró el experimento. A pesar de ser suelos de la misma serie, el contenido de nutrientes puede ser diferente entre sitios, de acuerdo al manejo recibido y al grado de descomposición de la ceniza volcánica. Los tratamientos fueron: 1) Testigo a micronutrientes (mayores y secundarios), 2) Com-

pleto con micronutrientes (mayores, secundarios, y nivel dos de micronutrientes), 3) Completo menos boro, 4) Completo más boro nivel tres, 5) Completo menos zinc, 6) Completo más zinc nivel tres, 7) Completo menos hierro, 8) Completo más hierro nivel, 9) Completo menos manganeso, 10) Completo más manganeso nivel tres, 11) Completo menos cobre, 12) Completo más cobre nivel tres, 13) Completo menos molibdeno, 14) Completo más molibdeno nivel tres. Por su parte, los niveles y las fuentes utilizadas grado analítico aparecen en la Tabla 2. En general, los productos empleados presentan buena solubilidad en agua y son ampliamente utilizados en agricultura para corregir deficiencias de microelementos. En algunos casos como fuentes, se pueden emplear los respectivos quelatos de los elementos menores cationes.

Tabla 1. Análisis de los Suelos Bajo Estudio

	<i>Suelo 1</i>	<i>Suelo 2</i>	<i>Suelo 3</i>	<i>Suelo 4</i>
Textura	F-A	F-A	F-A	F-A
pH	5,65	5,42	5,20	5,45
M. Orgánico %	15	20	19	14
P (ppm)	40	8	25	6
K (meg/100g)	2,20	0,70	2,60	1,50
Na (meg/100g)	0,5	0,40	0,35	0,40
Ca (meg/100g)	15,70	11,10	8,60	13,00
Mg (meg/100g)	3,80	1,23	2,26	1,81
Al (meg/100g)		0,23	0,43	0,16
Fe (ppm)	8	7	7	5
Mn (ppm)	31	24	34	19
Cu (ppm)	0,6	0,9	0,9	0,5
Zn (ppm)	13	5,9	8,5	4,2
B (ppm)	0,34	0,04	0,03	0,01
CIC (e) (mag/100g)	21,70	13,30	13,89	16,46
Ca: Mg:k	4:1:0.6	9:1:0.6	4:1:1.2	7:1:0.80

Tabla 2. Niveles (kg/ha) Fuentes de Micronutrientes y Tratamientos utilizados en la Investigación

<i>Elementos</i>	<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 2</i>	<i>Nivel 3</i>	<i>Fuentes empleadas</i>
Boro	0	1	2	Ácido bórico del 17.48% de B
Zinc	0	5	10	Sulfato de Zinc heptahidratado del 22.61% de Zinc
Hierro	0	5	20	Sulfato ferroso del 19% de Fe
Manganeso	0	8	16	Sulfato magnanoso del 27% de Mn
Cobre	0	8	16	Sulfato cúprico pentahidratado con 23% de Cu
Molibdeno	0	1	2	Molibdato de amonio del 54% de Mo

Para evitar deficiencias de magnesio, se hicieron tres aspersiones foliares de solución de nitrato de magnesio al 0,4%, con intervalo de 10 días empezando a los 20 días de la germinación (Malavolta, 1994).

Para nitrógeno se utilizó urea del 46% de N; para fósforo fosfato monocálcico del 60% de P_2O_5 ; para potasio cloruro de potasio del 62% de K_2O y para magnesio nitrato de magnesio del 10% de Mg y 10% de N. Las aplicaciones se hicieron en solución con agua destilada. Se sembraron diez semillas por pote de *Avena fatua*, variedad Cayussa. A las dos semanas de la germinación, se dejaron cinco plantas por unidad experimental, buscando homogenizar la población. Al iniciar el espigamiento (Malavolta, 1994), se hizo la cosecha y se determinó el peso fresco y seco de raíz y parte aérea y la longitud de la parte aérea. El secado del material se hizo a 75°C. hasta peso constante. Para evaluar efectos al nivel celular, a los 30 días de la germinación, se recolectó la segunda hoja del tercio superior para los tratamientos 1, 4, 6, 8, 10, 12 y 14.

El diseño básico aplicado a cada uno de los suelos fue de bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones. Para la interacción entre el tipo de suelos y los tratamientos, se realizó un análisis combinado de varianzas. Para la comparación de promedios, se utilizó la prueba de Tukey en la comparación de los tipos de suelo y la prueba de Dunnett para la comparación del testigo contra el resto de los tratamientos.

A la cosecha y por unidad experimental, las variables evaluadas fueron peso fresco de raíz y peso fresco aéreo, peso seco de raíz y aéreo y longitud de la planta. Además, se hicieron observaciones exteriores para determinar posibles síntomas visuales de deficiencia y celulares de los tratamientos antes mencionados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tal como aparece en la Tabla No. 1, los suelos bajo estudio presentan textura franco-arenosa, acidez de moderada a fuerte, alto contenido de materia orgánica en los suelos uno, dos y tres y medio en el suelo cuatro; el fósforo alto en el suelo uno; medio en el suelo tres y bajo en los suelos dos y cuatro; altos contenidos de calcio y potasio y bajo a medio de magnesio especialmente desde el punto de vista de la relación Ca:Mg:K. En cuanto a los micronutrientes se presenta cantidades bajas de Fe, Cu y B y media a altas de Mn y Zn. Por su parte, la clasificación correspondió para todas los suelos a PACHIC MELANUDANS, altitud 2600 m.s.n.m., pendientes 1-7%, clima ambiental frío seco, buen drenaje natural, régimen climático del suelo údico, muy profundo y sin presencia de erosión; presencia de alofana en los horizontes, lo que indica su origen a partir de cenizas volcánicas, lo cual le puede conferir alta capacidad de fijación de aniones como fosfatos, boratos y molibdatos, característica que reduce la disponibilidad para la planta de los respectivos nutrimentos. El suelo cuatro presenta el contenido más bajo de micronutrientes y materia orgánica, a diferencia del suelo uno en el cual se presenta el contenido más elevado de algunos nutrimentos, al igual que una relación Ca: Mg: K más balanceada (Lora, 1998; Tisdale *et al.* 1993).

Como aparece en la Tabla 3, en general el suelo uno sobresalió en el conjunto de las variables evaluadas en la planta indicadora sobre los restantes tres suelos, debido posiblemente a sus características químicas iniciales, especialmente por el contenido de elementos mayores y con posibilidad de un mayor grado de mineralización de la materia orgánica, con las ventajas que esto puede tener. Estos datos muestran que dentro de la misma serie existen diferencias entre sitios posiblemente como defecto del manejo a que haya sido sometido el suelo.

Tabla 3. Resultado de la Evaluación de algunas Variables respecto a la Procedencia de los Suelos de la Serie de Bermeo

Procedencia	Peso Fresco Raíz (g)	Peso Seco Raíz (g)	Peso Fresco Aéreo (g)	Peso Seco Aéreo	Longitud Aérea (cm)
Suelo 1	39,93 a	10,69 a	141,61 a	46,86 a	85,21 a
Suelo 2	31,38 b	11,29 a	96,95 b	36,96 b	75,52 b
Suelo 3	23,50 c	9,98 b	96,85 b	33,23 c	85,02 a
Suelo 4	22,94 c	11,18 a	79,19 c	26,62 d	65,11 c

Promedios con diferente letra son estadísticamente diferentes. Turkey (P 0.005)

Para las variables peso seco de raíz, peso seco aéreo y longitud aérea hubo diferencias significativas en el suelo tres y en el suelo cuatro, pero no en los suelos uno y dos. En la Tabla 4, se muestra el efecto de tratamientos para los suelos tres y cuatro, en los cuales, en general hubo mayor respuesta a los tratamientos.

Con base en los datos de la Tabla 4, para el suelo tres, en el parámetro peso seco aéreo, la aplicación de boro mostró efecto negativo, debido posiblemente a la mineralización de la materia orgánica, lo cual incrementó el contenido disponible del microelemento, produciendo toxicidad en la planta. El contenido de zinc, en general es medio adecuado en el suelo, por lo cual solo hubo un ligero incremento y solo sería necesario agregar una cantidad pequeña como dosis de mantenimiento. Con relación al hierro, su contenido en el suelo es medio a bajo. Sin embargo, en peso seco no hubo diferencias con el testigo, atribuible a la liberación del elemento al descomponerse la materia orgánica ó a que la fuente empleada podría ser más deficiente que los quelatos de hierro como fuente del elemento. Para el manganeso, sólo se debería aplicar una dosis de mantenimiento. En el caso del cobre hubo efecto negativo, el cual puede deberse al manejo dado al suelo, ya que podría haber por reacciones de tipo químico y biológico, un incre-

mento en el contenido disponible del micronutriente. Finalmente, con relación al molibdeno, a pesar de la elevada fijación del elemento por parte de la alofana presente en este andisol, posiblemente su contenido es adecuado y solo se deben agregar pequeñas cantidades como dosis de mantenimiento, evitando dosis altas que puedan causar molibdosis en animales que consumen estas plantas (Castillo, 1985).

Para el parámetro peso seco raíz, solamente el molibdeno mostró efecto positivo significativo respecto al testigo, indicando la necesidad del nutrimento para el desarrollo radicular conjuntamente con el fósforo. El hierro redujo el peso de raíces, posiblemente debido a que su contenido es adecuado inicialmente para este parámetro. Respecto al cobre, al manganeso y al zinc, en general su contenido es adecuado y sólo se deben aplicar cantidades moderadas como dosis de mantenimiento. Para el parámetro longitud área hubo efecto positivo con la aplicación de boro, manganeso, cobre y molibdeno, por lo tanto sólo deben aplicarse bajas cantidades como dosis de mantenimiento, cuidando de no inducir problemas de toxicidad especialmente de molibdeno. El zinc sólo produjo un ligero incremento en la altura o longitud aérea, indicando un contenido adecuado del microelemento.

Tabla 4. Efecto de Tratamientos Seleccionados en dos Suelos para las Variables peso Seco Aéreo, Peso Seco Raíz y Longitud Aérea

Tratamiento (kg/ha)	Peso Seco Aéreo (g) Suelo Nr.		Peso Seco Raíz (g) Suelo Nr.		Longitud Aérea (cm) Suelo Nr.	
	3	4	3	4	3	4
	Testigo	32,00 a	19,50 b	9,85 a	7,50 c	84,00 ab
2 kg-B	27,00 b	22,00b	10,30 a	11,50 b	87,50 a	63,00 a
10 Kg-Zn	35,25 ab	23,40 ab	10,00 a	10,00 bc	86,00 ab	74,00 b
10 Kg-Fe	33,20 a	34,00 a	8,80 a	8,40 c	82,00 ab	72,50 b
16 Kg-Mn	35,10 ab	31,00 a	9,30 a	9,80 bc	90,00 a	73,00 b
16 Kg-Cu	28,30 b	28,00 a	10,80 a	11,60 b	87,00 a	67,00 a
2Kg molibdato de Na	35,00 ab	35,00 a	12,00 b	13,50 b	98,3.00 c	67,00 a

Promedios con las mismas letras no difieren estadísticamente. Turkey (P0.05)

Para el suelo cuatro y con base en los datos de la Tabla 4, para el parámetro peso seco aéreo, la aplicación de boro mostró un ligero aumento aunque no significativo, lo que indica que no es necesaria la aplicación del nutrimento. Respecto al zinc, se presentó incremento y su contenido pudo ser considerado medio a bajo y, por tanto, habría necesidad de aplicaciones moderadas del nutrimento. Por su parte, para el hierro hubo incremento significativo respecto al testigo, debido a la baja disponibilidad del nutrimento posiblemente por las características del suelo, es decir que es necesario hacer aplicaciones adecuadas para obtener buenos rendimientos de materia seca aérea. Igual situación se presentó con el manganeso, el cobre y el molibdeno. La alta fijación del molibdeno en andisoles induce deficiencia del micronutrimento y por tanto se requiere la aplicación del mismo. La formación de compuestos insolubles del cobre con la materia orgánica del suelo, en esta localidad, reduce la disponibilidad del nutrimento, generando una respuesta positiva a su aplicación (Salisbury & Ross, 1994; Burbano, 1994).

Es importante considerar que las características de la materia orgánica no son iguales aún en suelos de una misma serie, es decir a diferencia del suelo tres, los compuestos formados con el cobre son más estables y por tanto hay menos disponibilidad del elemento para la

planta, tal como lo expresa Burbano (1994). Para peso seco de raíz, con excepción del hierro, hubo efecto positivo, especialmente para molibdeno, cobre y boro, indicando un bajo contenido de estos micronutrientes para el desarrollo de la raíz. Respecto a la longitud aérea hubo efecto positivo de la aplicación de Zn, Fe y Mn. Por ejemplo, el zinc es muy importante para el crecimiento de la planta, ya que al existir deficiencia del elemento podría afectarse la elongación del tallo y ser necesaria su aplicación. En general en este suelo se requieren aplicaciones adecuadas de mantenimiento para los micronutrientes en estudio.

Los datos de la Tabla 5 muestran la comparación del testigo con algunos tratamientos, de acuerdo a la prueba de Dunnett. En el suelo uno no hubo efecto de la aplicación de Mo, B, Mn y Fe; en el suelo dos hubo incremento a la aplicación de Mo, Mn y Fe; en el suelo tres efecto negativo a la aplicación de B; y en el suelo cuatro incremento a la aplicación de Mo, Mn y Fe. Estos datos muestran comportamientos diferentes entre los suelos de las cuatro localidades, posiblemente debido no sólo a su composición sino al manejo previo, todo lo cual puede influir en la mineralización de la materia orgánica y a la meteorización de la ceniza volcánica de la cual se han derivado estos andisoles (Malagón, 1995).

Tabla 5. Comparación del testigo a elementos menores con algunos tratamientos en los cuatro suelos para las variables peso seco aéreo

<i>Tratamiento</i>	<i>Suelo 1</i>	<i>Suelo 2</i>	<i>Suelo 3</i>	<i>Suelo 4</i>
Testigo	44 a	32 a	32 a	20 a
Más Molibdeno	45 a	37 ab	35 a	35 b
Más Boro	45 a	36 a	27 ab	22 a
Más Manganeso	48 a	38 ab	36 a	31 b
Más Hierro	48 a	38 ab	33 a	34 b

Promedios con las mismas letras no difieren estadísticamente. Dunnett's (P0.05)

Tal como se observa en la Tabla 6, las variables peso seco aéreo y longitud aérea presentaron diferencias altamente significativas entre suelos para algunos tratamientos. Estos datos indican que para nutrimentos puede haber diferencias entre suelos a pesar de pertenecer a una misma serie, por lo cual es recomendable la carac-

terización del suelo cuando se va a sembrar un determinado cultivo. Este comportamiento se debe posiblemente al manejo y a las condiciones agroecológicas del suelo, lo cual es importante especialmente para andisoles.

Tabla 6. Efecto de la interacción del suelo en cada tratamiento para las variables peso seco raíz, peso seco aéreo y longitud aérea

CUADROS MEDIOS			
Tratamiento	Peso seco raíz	Peso seco aéreo	Longitud aérea
Testigo a menores	8,84 ** a	294,11 **	405,88 **
Completo a menores	0,91 ns	319,65 **	140,52 ns
Menos B	0,40 ns	461,46 **	578,52 **
Más B	1,00 ns	329,35 **	427,63 **
Menos Zn	5,20 *	310,74 **	452,66 **
Más Zn	14,40 **	245,19 **	112,30 ns
Menos Fe	31,20 **	219,65 **	282,75 **
Más Fe	4,60 ns	195,60 **	330,75 **
Menos Mn	5,90 *	147,62 **	96,75 ns
Más Mn	0,41 ns	153,47 **	150,00 **
Menos Cu	4,64 ns	145,54 **	259,33 **
Más Cu	2,01 ns	260,98 **	224,73 **
Menos Mo	2,17 ns	358,97 **	771,22 *
Más Co	2,00 ns	61,73 **	563,63 **

* Diferencia significativa

** Diferencia altamente significativa

ns Diferencia no significativa

Características Anatómicas

De las observaciones al microscopio realizadas en cortes de la segunda hoja a los 30 días de la germinación en algunos tratamientos en los suelos bajo estudio, se encontró lo siguiente: En el tratamiento testigo a micronutrientes deformación de los estomas, desarrollo anormal del parénquima y deformación y mala distribución de los cloroplastos. Por su parte, la aplicación de boro mostró estomas normales y el tejido vascular bien generado; con aplicación de zinc el desarrollo del tejido vascular es normal pero las células del parénquima no muy bien desarrolladas. La aplicación de hierro mostró tejido vascular bien conformado; por su parte la aplicación de manganeso mostró tejido vascular normal, estomas algo deformados y células de parénquima con cloroplastos bien desarrollados; la aplicación de molibdeno mostró parénquima de apariencia igual que el tejido vascular, pero estomas deformes. Respecto al cobre se observó parénquima de apariencia normal al igual que el tejido vascular y estomas bien definidos y desarrollados.

Estas observaciones, mostraron al nivel general, la importancia de la aplicación de micronutrientes, especialmente en aquellos suelos cuyo contenido es limitante para el normal crecimiento de las plantas. De acuerdo a la especie vegetal, deberá considerarse la edad y la parte de la planta más adecuada para obtener información más precisa (Hewitt, 1983; Marschner, 1986).

CONCLUSIONES

A pesar de ser suelos pertenecientes a la misma serie, hay diferencias en el contenido de algunos microelementos como manganeso, zinc y boro, debido posiblemente al manejo recibido en cada uno, lo cual indica que no se puede generalizar dentro de una misma serie en aspectos relacionados con micronutrientes.

Dentro de las variables evaluadas, el peso seco aéreo mostró diferencias estadísticas entre los suelos considerados. Para las variables longitud aérea, peso fresco

aéreo y peso fresco de la raíz hubo diferencias entre los suelos uno, dos y cuatro. Igualmente y en general, el comportamiento de las variables frente a los tratamientos no fue igual, posiblemente debido a las funciones de los micronutrientes en cada una de ellas.

Entre los micronutrientes limitantes están el molibdeno, zinc, hierro, manganeso y cobre, por lo cual se deben aplicar cantidades de mantenimiento, cuidando de no inducir toxicidad para la planta.

Cuando no hubo aplicación de micronutrientes, se presentó deformación de los estomas, anormal desarrollo del parénquima y deformación y mala distribución de los cloroplastos. A nivel general estos resultados muestran la importancia de la aplicación de micronutrientes en suelos deficientes a estos elementos.

Bajo las condiciones de la presente investigación, la avena puede considerarse una buena planta indicadora para evaluar la disponibilidad de elementos menores del suelo para la planta en casa de malla.

BIBLIOGRAFÍA

ÁVILA, S.; RODRÍGUEZ, B. 2000. Respuesta de la papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) a fuentes y dosis de boro, en Cundinamarca. Trabajo de Grado Ingeniero Agrónomo. Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Facultad de Ingenierías. Carrera Ingeniería Agronómica, Bogotá, D.C. 125 p.

BURBANO, H. 1994. Interacciones de la materia orgánica y los elementos menores. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. p. 31-46

CASTILLO, E. 1985. Disponibilidad de elementos menores en cinco suelos de la cuenca media del Río Suárez (Santander y Boyacá). Tesis M.Sc Programa de Estudios para Graduados. Universidad Nacional-ICA. Bogotá. 172 p.

GRANDETT, G. 1979. Disponibilidad de Manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá. Tesis M.Sc. Programa de Estudios para Graduados. Universidad Nacional-ICA. Bogotá. 115 p.

HEWITT, E. 1983. The Essential and Functional Mineral Elements, In: Diagnosis of Mineral Disorders in Plants. Vol. 1. University of Bristol. p. 7-110

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 1980. Levantamiento Cuenca Alta Río Bogotá. p. 93-97

LORA, R. 1998. Análisis de suelos y material vegetal para micronutrientes. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. p. 47-56

LORA, R.; GAITÁN, M. 2002. Manual de Prácticas Laboratorio de Suelos, U.D.C.A. Bogotá, p. 60.

LÓPEZ, Y. 1998. Funciones e interacciones de los elementos menores en plantas y suelos. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. p. 1-12

MALAGÓN, D. 1995. Naturaleza de las características de diferenciación de las categorías de la taxonomía del suelo. Editorial Antares Ltda. IGAC, Bogotá. p. 23-37

MALAVOLTA, E. 1994. Diagnóstico foliar. En: Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. SCCS. Santafé de Bogotá. p. 57-98.

MARSCHENER, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. Harcourt Brace Jovanovich Publishers. London. 674 p.

PEÑA, F. 1997. Respuesta de la papa criolla a fósforo y materia orgánica en Andisoles de Cundinamarca. Trabajo de Grado Ingeniero Agrónomo. Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Facultad de Ingenierías. Carrera Ingeniería Agronómica, Bogotá, D.C. 135 p.

SALISBURY, F.; ROSS, C. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana, S.A. México. 759 p.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO. 1998. Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. 2da. Edición. Bogotá. 187 p.

TISDALE, S.; NELSON, W.; BEATON, J. 1993. Soil Fertility and Fertilizers Fifth Edition. New York. Mac Millan. Pub. Com. 585 p.

VILLAR, H. 1980. Disponibilidad de elementos menores en algunos suelos tabacaleros de Santander. Tesis M.Sc. programa para graduados. Universidad Nacional - ICA. Bogotá. 130 p.

Recibido: Julio 1 de 2003

Aceptado: Mayo 11 de 2004

