

**ALUMINIO, BORO, COBRE, COBALTO, HIERRO, MANGANESO
Y ZINC DISPONIBLES EN SUELOS VOLCANICOS DE LA
SABANA DE TUQUERRES, DEPARTAMENTO DE NARIÑO,
COLOMBIA (*)**

Bernardo Chamorro M., Carlos Echeverría P., Ricardo Guerrero R.,
Joaquín Gamboa J. ****

I. INTRODUCCION

Los micronutrientes juegan un papel tan importante como los macronutrientes en la nutrición mineral de la planta. Por ello, su determinación y estudio resulta fundamental en la programación de un manejo y fertilización adecuada de los suelos.

La presente investigación tiene como objetivo la evaluación de las formas aprovechables de los principales micronutrientes en suelos representativos de la Sabana de Túquerres.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Aluminio

En los últimos años, el estudio del aluminio ha cobrado gran importancia debido a la definitiva influencia que ejerce en la fertilidad y sobre algunas propiedades físico-químicas de los suelos (63).

Es un elemento poco móvil y tiene mucha afinidad por la pectina, por lo cual se acumula en las paredes celulares. Debido a su escasa movilidad, las raíces retienen entre el 80 y el 90% del aluminio existente en las plantas (32).

(*) Parcial de la tesis de grado presentada por los primeros autores bajo la dirección de los segundos.

** Profesor asistente y Profesor Jefe del Departamento de Fitotecnia, respectivamente. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia.

Después del oxígeno y el silicio, el aluminio es el elemento que más abunda en la corteza terrestre, en las rocas ígneas y en el suelo (7).

La acidez de los suelos está relacionada con la actividad del aluminio de cambio a través de las reacciones de intercambio e hidrólisis. De otra parte, juega un papel de importancia al estar ligado con la fijación o precipitación del fósforo en el suelo (67).

2.2. Boro

Se sabe que el Boro es absolutamente indispensable para los vegetales. Actúa principalmente como catalizador en la síntesis de elementos que intervienen en la formación de la pared celular (28).

Juega un papel especial dentro de la división celular e interviene en las enzimas de fosforilación. Está asociado con la síntesis de proteínas y carbohidratos, interviene en la función fotosintética y está asociado con la actividad de los tejidos vasculares (23, 41).

En algunos suelos del Valle del Cauca, el contenido de Boro total osciló entre el 17 y 96 p.p.m., en tanto que el boro soluble en agua se encontraba en cantidades inferiores a 1 p.p.m. (44). En el Valle del Sibundoy, el boro total osciló entre 63,52 y 24,28 ppm.

En relación a los niveles críticos de boro aprovechable del suelo, extraído con agua caliente, Reisenauer (48) establece los siguientes criterios:

ppm.	Estado
0,1 — 0,7	Deficiente
0,7 — 1,0	Adecuado
1,0 — 5,0	Tóxico

2.3 Cobre

El papel del cobre en la fisiología de la planta es importante y mal conocido. Aparentemente, tiene la función especial de retardar la descomposición de la clorofila. Es necesario en la nutrición animal por cuanto interviene en los procesos de oxidación y en la transferencia de energía (4, 9, 26, 28).

Según Hodgson (30) y Vinogradov (64), la cantidad promedio mundial de cobre total en los suelos es de 20 ppm. En suelos del Altiplano de Pasto el contenido promedio de cobre total (75 ppm.) es relativamente alto (6). En suelos del Valle del Sibundoy el contenido promedio de cobre total fue de 38 ppm. (6). En suelos de clima medio en el Departamento de Nariño, se encontraron cantidades promedias de cobre total equivalentes a 11 ppm. (34).

El promedio de cobre disponible, extraído con acetato de amonio pH 4,8, encontrado en suelos de Bahía, Brasil, fue de 0,5 ppm. (19). En andesoles de Costa Rica, la concentración promedio de cobre disponible en los primeros 30 cms. de profundidad fue de 17,4 ppm. (53).

La materia orgánica contribuye a la fijación del cobre, con el cual forma un complejo organo-metálico a partir de los ácidos fúlvicos y Húmicos (30, 61).

El cobre aprovechable, se encuentra en la solución del suelo y en las posiciones de intercambio, siendo fácilmente reemplazable por otros cationes (18, 20). La mayor asequibilidad del Cobre está relacionada con una reacción ácida del suelo, dominando la forma Cu^{++} cuando el pH es superior a 5, mientras que a reacciones más ácidas predomina la forma Cu^{+} (2, 24).

2.4 Cobalto

El cobalto es un elemento indispensable, tanto para los animales como para los vegetales. En los animales es esencial en las síntesis de la cobalamina, la que actúa como factor de mantenimiento de la flora intestinal; además, hace posible la síntesis de la hemoglobina de la sangre (10, 28). Por otra parte, este elemento influye favorablemente en la producción de leche (1).

En las plantas, no sólo es necesario para la fijación de nitrógeno en forma simbiótica, por medio del género **Rhizobium**, sino que interviene además en la síntesis de la vitamina B_{12} (8, 15, 61).

El cobalto abunda más en suelos derivados de rocas ígneas básicas siendo diferente en aquellas desarrolladas a partir de rocas ígneas ácidas, calcíticas, dolomíticas y en suelos arenosos (60).

Como catión de cambio, el cobalto está en los suelos en las formas de Co^{+} o como divalente de Co^{++} (45). De igual manera, aparecen en la forma Co^{+++} formando complejos orgánicos (30). En su mayor parte está retenido por el retículo cristalino de los minerales y no es rápidamente disponible a las plantas. También es retenido por las arcillas, siendo mayor su retención por arcillas del tipo montmorillonita (25, 56).

En relación a los factores que afectan la disponibilidad de este elemento, Young (66) indica que su solubilidad aumenta a medida que el pH disminuye. Las malas condiciones de drenaje aumentan la solubilidad del cobalto (10).

Los contenidos promedios de cobalto total para suelos del Valle del Sibundoy (65) fueron de 9,4 ppm., para la zona del clima medio en el Departamento de Nariño 9,0 ppm. (34) y para el Altiplano de Pasto 4,5 ppm. (6). En suelos de las provincias de Buenos Aires y Tierra del Fuego (Argentina), las concentraciones de cobalto total fueron bajas, oscilando entre el 0,7 y 3,0 ppm. (45).

En suelos del Africa Oriental, los resultados encontrados para cobalto total oscilaron entre 0,2 y 9,0 (16, 43). En suelos de Pradera en Uruguay los valores determinados son altos, llegando hasta 76,4 ppm de elemento total (1).

2.5 Hierro

La planta necesita absorber hierro para desarrollarse normalmente y especialmente para sintetizar la clorofila, sin que esté directamente relacionado con su estructura. Es necesario para la multiplicación de las células, las enzimas de mitocondria, la formación del núcleo de las células de los tejidos de crecimiento y para el crecimiento de los cloroplastos. También es un importante catalizador y actúa en las reacciones de oxidación-reducción (9, 27, 28, 29, 58).

El hierro está presente en el suelo en grandes cantidades. En los latosoles su promedio oscila entre 0,5 y 5,0% y en los suelos ferruginosos la concentración de hierro puede llegar a ser mayor al 60% (9, 11).

Se presenta en formas iónicas, ferrosa Fe^{++} y férrica Fe^{+++} , siendo más soluble la primera que predomina en suelos de pH muy bajos (9), pudiendo entonces presentarse a niveles tóxicos para las plantas (28).

Los contenidos de hierro en el suelo varían entre límites relativamente amplios. Así, De Santana (19) informa sobre concentraciones promedias de hierro intercambiable ($Ac-NH_4$, pH 4,8) equivalentes a 28,9 ppm. En suelos ácidos de España se encontraron concentraciones promedias de hierro intercambiable ($Ac-NH_4$, pH 7,0) equivalentes a 4,3 ppm. (54) y en suelos forestales de Escocia contenidos de 10 ppm., en promedio, utilizando como extractor ácido acético al 5% (59).

2.6 Manganeso

El manganeso interviene en las siguientes funciones fisiológicas de la planta: formación de clorofila, síntesis de carotenos, desarrollo del ciclo de Krebs, procesos de oxidación-reducción, reacciones y funcionamiento enzimático (3, 13, 28, 39).

El manganeso puede estar presente en el suelo en las formas di, tri y tetravalente, de las cuales la forma divalente reducida es la que puede ser asimilada por la planta (61). La aprovechabilidad de este nutrimento depende del pH del suelo, del contenido de calcio y fósforo y de la presencia de ciertos compuestos reductores u oxidantes (5).

En Costa Rica, Roldán (52) encontró concentraciones promedias de manganeso intercambiable equivalentes a 3,8 ppm. en suelos aluviales y 10,0 ppm. en latosoles ($Ac-NH_4$, pH 7,0). En suelos de la región cacaofera de Bahía, Brasil, las concentraciones de manganeso intercambiable extraído con acetato de amonio pH 4,8 fueron en promedio equivalentes a 89,7 ppm. (19). En suelos volcánicos de la región de clima medio de Nariño, el promedio de manganeso intercambiable ($Ac-NH_4$, pH 7,0) fué de 16,4 ppm. (14).

2.7 Zinc

El zinc, al igual que el cobre, actúa como catalizador y regulador del metabolismo, particularmente en lo que atañe a los proce-

dos de oxidación-reducción. Influye en el funcionamiento de la cisteína, entra en la composición de la molécula de la enzima anhidrasa carbónica y, resumidamente, participa como activados de por lo menos nueve sistemas enzimáticos de las plantas (28, 31, 57).

El zinc se encuentra en el suelo formando complejos orgánicos o combinado con varios minerales, en posiciones de intercambio y en equilibrio dinámico con la fracción existente en la solución del suelo. Es un elemento que contribuye poco a la composición total de los suelos, ya que la mayoría de los minerales que lo contienen se meteorizan con facilidad (42, 55).

En general, se acepta que los suelos provenientes de material ígneo básico tendrán suficiente Zinc, mientras que los desarrollados de material ígneo ácido puede presentar deficiencias de este elemento (7). En suelos de mayor permeabilidad, como sucede con los de textura liviana o con las lateritas, el contenido de Zinc tiende a ser bajo (64).

En Costa Rica, el promedio de Zinc disponible (HCl , 0,1N) de Andosoles fue de 7,2 ppm. (53); en aluviales, la concentración promedio obtenida con el mismo extractor fue de 8,1 ppm. (38). En Latosoles de Bahía, Brasil, la concentración promedio de Zinc disponible ($Ac-NH_4$, pH 4,8) fue de 3,9 ppm. (19). En Israel, para suelos arenosos, la concentración promedio de Zinc intercambiable (EDTA) fue de 4,3 ppm. (46).

Igüe y Bornemizsa (31), indican que se ha observado carencia de este elemento en suelos tropicales. Explican que la razón principal de esta situación reside no tanto en las bajas concentraciones de este elemento, sino más bien en la baja disponibilidad del Zinc presente, causada por una gran variedad de razones, incluyendo una retención bastante fuerte del Zinc por la materia orgánica.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Generalidades de la región estudiada

La Sabana de Túquerres se localiza al Sur-Occidente de Colombia, al Sur del Departamento de Nariño. Geográficamente se encuentra al occidente del Meridiano de Greenwich, entre $0^{\circ}52'51''$ — $1^{\circ}05'25''$ de latitud norte y $77^{\circ}47'12''$ — $77^{\circ}32'24''$ de longitud. La altura sobre el nivel del mar fluctúa entre 2.960 y 3.030 m., con una precipitación promedio anual de 700 mm. y una temperatura media de $8^{\circ}C$ (51). Se clasifica como bosque húmedo montano (bh-M) (21).

3.2 Suelos

Los suelos de la Sabana de Túquerres presentan un relieve ondulado, son muy profundos (90 a 180 cms.) y sus características morfológicas son comunes a otros suelos volcánicos. Tienen una alta capacidad de retención de humedad y elevados porcentajes de arenas. Son suelos relativamente jóvenes del tipo A-C o A (B) C. De acuerdo a la Séptima Aproximación, estarían dentro de dos grandes grupos de suelos: Cryandeps y Vitrandeps. (22).

Los rangos de variación de algunas características de los suelos estudiados, determinadas por Feuillet y Feuillet (22), son los siguientes:

Suelos

% de arenas: 48,40 - 71,60; % de arcillas: 8,80 - 30,40; % de limos: 8,00 - 34,80; pH (agua 1:1): 5,1 - 6,6; %C (Walkey - Black): 0,33 - 6,94; % N-total (Kjeldhal): 0,10 - 0,51; C.I.C. (Ac-NH₄): 16,10 - 23,63 m.e./100 g.; K-camb.: 104,11 - 775,94 ppm. Ca-camb.: 161-20 - 4.144,60 ppm.; Mg-camb.: 490,06 - 2026,62 ppm.; Na-camb.: 39,63 - 885,83 ppm.

Subsuelos

% de arenas: 34,00 - 75,96; % de arcillas: 6,20 - 39,60; % de limos: 16,84 - 50,00; pH (agua 1:1): 5,8 - 6,8; %C (Walkey - Black): 0,30 - 1,03; % N-total (Kjeldhal): 0,05 - 0,13; C.I.C. (Ac - NH₄): 6,30 - 15,16 m.e./100 g.; K-camb.: 82,29 - 709,47 ppm. Ca-camb.: 41,97 - 3.478 ppm.; Mg-camb.: 283,37 - 1.771,05 ppm.; Na-camb.: 32,91 - 331,37 ppm.

3.3 Métodos

Para la presente investigación, se tomaron muestras de suelos y subsuelos en diez perfiles ubicados en otras tantas localidades, bajo condiciones de pradera.

Para la extracción de cobre, cobalto, hierro, manganeso y Zinc se utilizó Acetato de amonio normal pH 4,8. El aluminio se extrajo con cloruro de potasio y el boro con agua caliente. La determinación de los diferentes elementos se hizo siguiendo las técnicas descritas por Jackson (32).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas I y II.

4.1 Aluminio

El aluminio cambiante en los suelos estudiados tuvo un promedio de 84,0 ppm., con un máximo de 157,5 ppm. (Recta de Guachucal) y un mínimo de 29,25 ppm. (Entrada a Guachucal). En los subsuelos, el promedio fue de 57,36 ppm., con un máximo de 139,5 ppm. y un mínimo de 33,48 ppm.

Es evidente que los suelos de la Sabana de Túquerres tienen concentraciones relativamente bajas de aluminio intercambiable, pues la mayoría de los suelos estudiados presentan valores inferiores a 1 m.e./100 g. y, por tanto, no están afectados por problemas inherentes a la toxicidad de aluminio.

Es seguro que los suelos estudiados no respondan a las aplicaciones de cal, tal como ha ocurrido con suelos del Altiplano de Pasto (12, 50), pues, de acuerdo a Reeve y Sumner (47), el efecto benéfico del encalado se debe, más que todo, a la neutralización del aluminio intercambiable. Por otra parte, según el criterio de Kamprath (35), en suelos cuyo aluminio intercambiable no represente por lo menos el 15% de la capacidad de intercambio catiónico, no es necesaria la práctica del encalado. Tal sería el caso de los suelos estudiados.

— T A B L A I —

Resultados obtenidos para los diferentes microelementos en los suelos estudiados (p. p. m.)

Localidad	Al	B	Cu	Co	Fe	Mn	Zn
El Espino	112,50	0,76	0,534	0,850	46,66	0,666	Trazas
Recta de Guachucal	157,50	0,72	0,084	0,833	293,33	0,666	Trazas
Entrada a Guachucal	29,25	0,76	0,534	0,876	80,00		Trazas
Recta a Cumbal	99,50	0,62	1,166	0,873	225,00	0,833	Trazas
Tasma	108,00	0,72	0,025	0,906	206,66	0,666	5,00
Providencia	67,50	0,76	0,015	0,850	46,66	0,766	Trazas
Puente de San Juan	60,75	0,80	0,543	0,906	200,00	0,833	Trazas
Puente de Cualanquizán	69,75	1,00	0,450	0,866	256,66	0,833	0,333
San Roque	85,80	0,92	0,433	0,893	36,66	Trazas	1,666
Túquerres	49,50	0,80	1,583	0,833	15,00	Trazas	2,666
Máximo	157,50	1,00	1,583	0,906	293,33	0,833	5,000
Promedio	84,00	0,78	0,535	0,873	140,66	0,526	0,966
Mínimo	29,25	0,62	0,015	0,833	15,00	Trazas	Trazas

— T A B L A II —

Resultados obtenidos para los diferentes microelementos en los subsuelos estudiados (p. p. m.)

Localidad	Al	B	Cu	Co	Fe	Mn	Zn
El Espino	34,20	0,62	0,166	0,833	51,66	Trazas	Trazas
Recta de Guachucal	139,50	0,76	1,333	0,866	293,33	Trazas	Trazas
Entrada a Guachucal	33,48	0,68	1,333	0,900	31,66	0,766	9,166
Recta a Cumbal	33,48	0,72	0,580	0,833	60,00	0,666	Trazas
Tasma	51,75	0,80	0,433	0,873	58,33	0,666	4,666
Providencia	51,75	0,72	0,166	0,876	101,66	0,666	Trazas
Puente de San Juan	40,50	0,96	0,666	0,833	28,33	0,766	Trazas
Puente de Cualanquizán	60,75	0,96	1,667	0,900	38,33	0,766	Trazas
San Roque	60,75	0,96	0,334	0,816	200,00	0,666	Trazas
Túquerres	67,50	1,00	0,166	0,800	8,66	1,966	7,166
Máximo	139,50	1,00	1,667	0,900	293,33	1,966	9,166
Promedio	57,36	0,81	0,684	0,858	87,19	0,692	2,099
Mínimo	33,48	0,62	0,166	0,800	8,66	Trazas	Trazas

4.2 Boro

Las concentraciones de boro disponible fueron bastante homogéneas. En efecto, el promedio para los suelos fue de 0,79 ppm., con un mínimo de 0,62 ppm. (Recta a Cumbal) y un máximo de 1 ppm. (Puente de Cualanquizan). El promedio para los subsuelos fue de 0,81 ppm. con un mínimo de 0,62 ppm. y un máximo de 1 ppm.

Estos niveles presentan cierta similitud con los encontrados por Olarte y Motta (44) en suelos del Valle del Cauca, y de acuerdo al criterio establecido por Reisenauer (48) serían adecuados para el desarrollo normal de la mayoría de las plantas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que los requerimientos de boro, según Malavolta y colaboradores (37), varían grandemente con la especie cultivada, y la variación entre niveles adecuados, tóxico y deficiente es muy reducida.

4.3 Cobre

Los resultados obtenidos indican que el cobre intercambiable tiene un contenido promedio, en los suelos, de 0,535 ppm., con un máximo de 1,58 ppm. (Túquerres) y un mínimo de 0,015 ppm. (Providencia).

En los subsuelos el promedio fue de 0,684 ppm., con un máximo de 1,66 ppm. y un mínimo de 0,166 ppm.

Las concentraciones antes anotadas son muy bajas en comparación a las encontradas por Rubinstein (53) en Andosoles de Costa Rica. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el mencionado autor efectuó la extracción con HCl 1N, en tanto que en la presente investigación se utilizó como solución extractora el NH_4OAc 1N pH 4,8 que, según De Santana (19), extrae cantidades más bajas y, al mismo tiempo, constituye un método más satisfactorio para la extracción del cobre aprovechable.

Resulta algo difícil decidir si las concentraciones encontradas son o no deficientes en relación a la planta, pues la cantidad extraída varía mucho con el método de extracción utilizado. De otra parte, Reuther y Labanauskas (49) sostienen que hasta el momento no se ha desarrollado un método adecuado para la determinación del cobre aprovechable.

Sin embargo, valores como los obtenidos en el suelo Providencia (0,015 ppm.), en el suelo Tasma (0,025 ppm.) y en el suelo Recta a Guachuca (0,084), son definitivamente bajos y cabría esperar en ellos un déficit de cobre aprovechable. Al respecto, vale la pena anotar que los suelos con mayor contenido de materia orgánica: Providencia (11,96%) y Recta a Guachuca (9,39%), presentaron las más bajas concentraciones de cobre intercambiable. Se insinúa por tanto, la formación de complejos organo-metálicos de cobre, lo cual conduciría a una disminución del cobre disponible para la planta (9, 32, 61).

Se hace necesario desarrollar trabajos de investigación que conduzcan a la evaluación de métodos de extracción de cobre aprovecha-

ble y al estudio de posibles deficiencias, mediante la utilización de una planta indicadora adecuada.

4.4 Cobalto

Los contenidos de Cobalto, para los suelos estudiados, tuvieron un promedio de 0,874 ppm., con un máximo de 0,906 ppm. (Tasma y Puente de San Juan) y un mínimo de 0,833 ppm. (Túquerres). En el caso de los subsuelos, el promedio fue de 0,858 ppm., con un máximo de 0,900 ppm. y un mínimo de 0,800 ppm.

Las concentraciones antes anotadas son similares a las reportadas por Vanselov (62), quien indica que cuando se utiliza como solución extractora el ácido acético 0,5 N, se obtienen valores que usualmente oscilan entre 0,1 y 1,0 ppm., pero que estas concentraciones son menores cuando se utiliza como solución extractora el acetato de amonio normal y neutro.

Pese a que en la literatura no se encontraron criterios que permitan hacer un diagnóstico sobre los valores de cobalto aprovechable, se presume que los niveles detectados en los suelos estudiados sean suficiente como para suplir los requerimientos del ganado.

4.5 Hierro

El hierro aprovechable, extraído de amonio 1N pH 4,8, arrojó un promedio, para los suelos, de 140,66 ppm., con un máximo de 293,33 ppm. (Recta a Guachuca) y un mínimo de 15,0 ppm. (Túquerres).

Para los subsuelos, el promedio fue de 87,18 ppm., con un máximo de 293,33 ppm. y un mínimo de 8,66 ppm.

Las concentraciones antes citadas son muy superiores, en promedio, a las obtenidas por Jiménez y Ocampo (33) en varios suelos de Nariño (35,77 ppm.). Igualmente superan ampliamente a las encontradas por De Santana (19), en suelos de la región cacaotera de Bahía (Brasil), como también a los valores obtenidos por Sánchez y Dios (54), en suelos ácidos de España y a los detectados por Swine y Mitchell (59), en suelos Forestales de Escocia.

Cabe esperar, por tanto, que los suelos de la Sabana de Túquerres estén bien absatecidas de hierro aprovechable a la planta, pues en la literatura disponible no se encontraron criterios sobre la aprovechabilidad de este micronutriente. Sin embargo, Malavolta, et al. (37) sostienen que los valores del hierro aprovechable, por sí mismos, pueden tener poco significado en la absorción del hierro por la planta y que es necesario tener en cuenta su balance con otros iones, tales como el cobre y manganeso, sugiriendo que un exceso de cobre y manganeso puede conducir a un déficit de hierro.

De igual manera, De Santana (19), sostiene que el desbalance de iones tales como el cobre, hierro y manganeso en el suelo, podría exigir el establecimiento de la relación $\text{Fe}/\text{Cu} + \text{Mn}$, pudiéndose esperar deficiencias de hierro si esta relación es baja. No obstante, a la

luz de los resultados obtenidos, este no sería el caso de los suelos estudiados y cabría concluir, entonces, que no presentan problemas con este elemento.

4.6 Manganeso

Los valores del manganeso tuvieron un promedio, en los suelos, de 0,526 ppm., con un máximo de 0,833 ppm. (Puente de San Juan) y un mínimo de trazas (Entrada a Guachucal, San Roque y Túquerres).

Para el subsuelo, el promedio fue de 0,692 ppm., con un máximo de 1,966 ppm. y un mínimo de trazas.

Los contenidos de manganeso intercambiable obtenidos para los suelos estudiados, son inferiores a los encontrados por Roldán (52), en suelos andosoles y aluviales de Costa Rica (extracción con NH_4OAc 1N, pH 7,0). Esta inferioridad se acentúa cuando se comparan con los resultados obtenidos por Swaine y Mitchell (59), en suelos forestales de Escocia (extracción con ácido atético al 2,5%).

Al comparar las concentraciones obtenidas en este estudio con las determinadas por De Santana (19), en suelos de la región cacaotera de Bahía, Brasil, se observa, igualmente, que son muy inferiores, a pesar de que en ambos casos se utiliza como extractor el acetato de Amonio normal pH 4,8. Seguramente esta amplia diferencia: 89,7 ppm. (Brasil) Vs. 0,526 ppm. (Sabana de Túquerres) se debe a la diferencia genética de los suelos (Oxisoles y Ultisoles, Brasil, Vs. Andepts, Sabana de Túquerres).

A pesar de que, según Labanauskas (36), niveles menores de 1,0 ppm. de manganeso intercambiable en el suelo, pueden significar deficiencias de este elemento en el caso de los cereales y cítricos, resulta un tanto difícil concluir sobre una posible deficiencia de manganeso en los suelos estudiados. La razón está en el hecho de que la cantidad de manganeso intercambiable extraída de un suelo dado depende de la solución utilizada (19) y en este caso sería necesario efectuar experimentos con plantas indicadoras, para saber si el método utilizado en este estudio es el adecuado o para buscar el más exacto.

No obstante, se cree que es de importancia tener en cuenta que los suelos estudiados son relativamente altos en materia orgánica y que esta circunstancia, en suelos ácidos, puede llevar a la aparición de deficiencias de manganeso a causa de la formación de complejos de tipo Mn^{++} -materia orgánica, que son inasequibles para las plantas.

Solamente un estudio particular en los suelos que presentaron trazas en su nivel de manganeso de cambio, mediante la utilización de varias técnicas de extracción y la calibración con una planta indicadora adecuada, podría despejar la duda se que se plantea.

4.7 Zinc

El Zinc intercambiable, para los suelos estudiados, presentó un promedio de 0,966 ppm., con un máximo de 5,0 ppm. (Tasmá) y un mínimo de trazas (en seis de los diez suelos estudiados). Para los sub-

suelos el promedio fue de 2,09 ppm., con un máximo de 9,16 ppm. y un mínimo de trazas.

Las concentraciones promedias de Zinc disponible encontradas en los suelos estudiados, son relativamente inferiores a las encontradas por Rubinstein (53) en andosoles de Costa Rica y por Marinho (38) en suelos aluviales del mismo país. Igualmente, son inferiores a las encontradas por Ravikovitch (46), en suelos arenosos y aluviales de Israel.

De nuevo, y tal como ocurre en el caso del manganeso, los resultados antes citados han sido obtenidos mediante la utilización de soluciones extractoras diferentes a la usada en este estudio; por ello, la base de comparación no es la misma. De Santana (19) demostró que las cantidades de Zinc intercambiable en suelos del Brasil, extraídas con NH_4OAc 1N, pH 4,8, fueron inferiores a las extraídas cuando se utilizó HCl N y $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 1%, pero fueron superiores a las extraídas con NH_4OAc 1N, pH 7,0.

Sin embargo, las cantidades extraídas por De Santana (19) en los suelos del Brasil, utilizando la misma solución que la usada en este estudio (NH_4OAc 1N, pH 4,8), son superiores, en promedio, a las obtenidas en los suelos de la Sabana de Túquerres (2,0 ppm Vs. 0,96 ppm.).

Si se tiene en cuenta los criterios compilados por Igue y Bornemisza (31) y los sugeridos por Chapman (17), quienes sostienen que, para una amplia gama de cultivos, concentraciones menores de 0,5 ppm. de zinc disponibles (extraídas con NH_4OAc), o menores, son un índice de deficiencia de este elemento, tendríamos que concluir que seis de los suelos estudiados presentan déficit de zinc. Sin embargo, una conclusión acertada al respecto, sólo podría hacerse a través de una investigación que utilice diferentes métodos de extracción y una planta indicadora adecuada.

Las bajas concentraciones de zinc disponible obtenidas en el presente estudio, pueden deberse, por lo menos en parte al elevado contenido de materia orgánica en estos suelos. Insinuándose, así, la formación de complejos órgano-minerales que inmovilizan el zinc, haciéndolo inasequible para la planta. Este mecanismo ha sido comprobado por Baugham, Himes, De Remer y otros investigadores citados por Igue y Bornemisza (31).

Se considera de importancia anotar que Melton et al (40) y otros investigadores, incluyendo Fox y Punkennett, citados por Igue y Bornemisza (31), quienes trabajaron con suelos tropicales, han demostrado que el encalamiento, práctica muy común en nuestro medio, puede inducir fuertes deficiencias de zinc.

V.— CONCLUSIONES

1. Los suelos estudiados presentaron concentraciones relativamente bajas de aluminio intercambiable y, por lo tanto, no están afectados por problemas de toxicidad de este elemento. Seguramente no se obtendrá respuesta al encalado.

2. Los contenidos de boro y hierro disponibles en los suelos estudiados, se presumen adecuados para el normal desarrollo de la planta. De la misma manera, el cobalto presentaría niveles suficientes para suplir los requerimientos del ganado.

3. Los suelos que presentaron los más altos contenidos de materia orgánica, mostraron los más bajos niveles de cobre disponible y cabría esperar para ellos un déficit de este nutrimento.

4. En los suelos que presentaron trazas en sus concentraciones de Manganeso y Zinc, podría esperarse deficiencias de estos nutrimentos para las plantas.

5.— Las posibles deficiencias de Cobre, Manganeso y Zinc, en algunos de los suelos estudiados, sólo podrían confirmarse previa investigación de diferentes métodos de extracción y su correlación con las cantidades extraídas por plantas indicadoras adecuadas.

VI. RESUMEN

Se estudiaron diez suelos y subsuelos de la Sabana de Túquerres, situada al Sur-occidente de Colombia en el Departamento de Nariño.

La Sabana está localizada a 3.000 m.s.n.m., tiene 8° de temperatura media anual y 700 mm./año de precipitación.

Se determinaron las fracciones disponibles de los microelementos Aluminio, Boro, Cobre, Cobalto, Hierro, Manganeso y Zinc. Como solución extractora para Cobre, Cobalto, Hierro, Manganeso y Zinc se utilizó NH₄OAc 1N, pH 4,8; el Boro se extrajo con agua caliente y el Aluminio con KCl 1N.

El Aluminio intercambiable fué bajo (promedio en suelos: 84,0 ppm.; subsuelos: 57,3 ppm.) y seguramente no habrá respuesta al encalado. Los niveles de Boro (0,78 y 0,81 ppm.*) y Hierro (140,6 y 87,1 ppm.) se presumen adecuados para el normal desarrollo de las plantas. Por el contrario, cabe esperar que se presenten deficiencias de Cobre (0,53 y 0,68 ppm.), Manganeso (0,52 y 0,69 ppm.) y Zinc (0,96 y 2,09 ppm.) en algunos de los suelos estudiados. El Cobalto (0,87 y 0,85 ppm.) podría calificarse como suficiente para los requerimientos del ganado.

VII SUMMARY

Exchangeable Al, B, Cu, Co, Fe, Mn and Zn in the volcanic soils of the Savana of Túquerres, Nariño, Colombia.

Soils and subsoils samples of the Savana of Túquerres (3.000 m. over sea level, mean average temperature and rainfall 8° C and 700 mm./year, respectively), Nariño, SW of Colombia, were studied to determine the exchangeable fractions of Al, B, Cu, Co, Fe, Mn and Zn.

NH₄OAc - N, pH 4,8 was used as extractant of Cu, Co, Fe, Mn and Zn; B was extracted with hot water and Al with KCl N.

Exchangeable Al was always low (1 m.e./100 g. or less). The amounts of B (average in ppm. soil: 0.78; subsoil: 0.81, Co (0.87 and 0.85 ppm.*), and Fe (140.6 and 87.1 ppm.) found in these soils seems to be adequate, while the Cu (0.53 and 0.68 ppm.), Mn (0.52 and 0.69 ppm.), and Zn (0.96 and 2.09 ppm.) concentrations are deficient for plant requirements in some of the studied soils.

VII. LITERATURA CITADA

1. ALBA, J. DE.— Alimentación del ganado en América Latina. PreHed., México. 1968. 336 p.
2. ANDERSON, J. H.— Studies on the oxidation of ammonia to hidroxilamine by the *Nitrosomonas*. *Biochemical Journal* 95: 688-698. 1965.
3. ANDERSON, O. E.— Manganeso. Georgia Agricultural Experiment Station. University of Georgia, College of Agriculture Bull. 126: 33-36. 1964.
4. ANONIMO.— Boletín de guanos y fertilizantes de México. México. 12 (54): 23-32. 1968.
5. BARE, M. L.— Manual de tierras y fertilizantes. Barcelona. Aedes, S. A. 1963. 288 p.
6. BARROS, M. P. y BLASCO, M.— Cobalto, cobre y molibdeno totales en los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia)* 3 (1): 23-29. 1971.
7. BEAR, F. E. *Chemistry of the soil*. New York. Reinhold Pub. 1958. 373 p.
8. BERGENSEN, F.— Biochemical pathways in legume root nodule nitrogen fixation. *C.S.I.R.O. Camberra*. 24: 246-250. 1960.
9. BLASCO, L. M.— Curso de suelos. Palmira, Facultad de Agronomía (en mimeógrafo). 1963. 427 p.
10. ————— y BOHORQUEZ, M.— Estudios sobre la composición química del ramio, (*Bohemeria nivea*, Caud.). *Agricultura Tropical (Colombia)* 23: 813-818. 1967.
11. BOULD, C. y HEWITT, E. J.— Mineral nutrition of plants in soils and culture media. In Stewart, F. C. ed. *Plant Physiology*. New York, Academic Press. Vol. 3. 1963. pp. 15-133.
12. BURBANO, H. et. al.— Algunos aspectos del encalamiento en suelos del Altiplano de Pasto, Nariño Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia)* 1: 51-64. 1969.
13. BURGER, C. J. y HAUGE, S. M.— Relation of manganese in the carotene and vitamin contents of growing crop plants. *Soil Science Soc. Am. Proc.* 72: 303-313. 1951.

* Average in soil and subsoil, respectively.