

LOS MICRONUTRIMENTOS Y SU IMPORTANCIA EN LA AGRICULTURA

Rodrigo Lora Silva*

Actualmente se conoce la existencia de 16 elementos esenciales para la planta. A siete de estos elementos se les denomina elementos menores, oligoelementos, elementos trazas o micronutrientos, principalmente debido a la pequeña cantidad tomada y utilizada por la planta. Ellos son: hierro, (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), Zinc (Z), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). El cobalto (Co) se requiere para la fijación simbiótica de N en plantas leguminosas.

En general los elementos esenciales para los animales son casi los mismos que necesita la planta. Excepciones son el I, Se y Na. Sin embargo, debido a que, generalmente, las plantas son las principales fuentes de micronutrientos para los animales es conveniente que los nutricionistas y fisiólogos animales consideren este aspecto dentro de la relación planta- animal.

1. BORO.

A pesar de que la esencialidad de este nutriente fue mostrada desde 1926 por Sommer y Lipman, no se sabe aun mucho sobre sus funciones en la vida vegetal (8).

Para un desarrollo normal de la planta, debe existir dentro de ella un balance adecuado Ca:B y K:B. Este balance depende de la especie de planta, pero en gene-

* Ingeniero Químico. M.S. Programa Sueños. Instituto Colombiano Agropecuario - Tibaitatá. Apartado Aéreo 151123. Bogotá - Colombia, 1990

nal, una relación Ca:B adecuada está en el intervalo de 50:1 - 1200:1. Por ejemplo para tabaco es 1200:1, y para soya es de 500:1 (23). Por su parte la relación K:B es de 25:1 - 250:1 (4).

1.1. Factores que Afectan la Disponibilidad de Boro en el Suelo.

La disponibilidad de boro para la planta está afectada tanto por los factores que favorecen su fijación, como por aquellos relacionados con el clima, material parental, interacciones con otros elementos, materia orgánica y textura del suelo. En términos generales la relación entre el boro y los factores en cuestión es la siguiente:

1.1.1. pH y Nivel de Cal. La fijación de boro por hidróxidos de hierro y aluminio como por arcillas aumenta con el pH, siendo mínima a pH cercano a 5 y máxima entre pH 8 y 9. El encalado disminuye la disponibilidad de boro por fijación sobre los hidróxidos de hierro y aluminio recién precipitados (18).

1.1.2. Arcillas. Las arcillas con estructuras micáceas como vermiculita tienen mayor habilidad para fijar boro. En general la relativa habilidad es: vermiculita > caolinita > montmorillonita (13).

1.1.3. Hidróxidos de Hierro y Aluminio. En general, los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio contribuyen en alto porcentaje a la fijación de boro. Posiblemente esta fijación se deba a intercambio aniónico, adsorción de moléculas de ácido bórico y a enlaces de hidrógeno (4).

1.1.4. Materia Orgánica. La fijación por humus se lleva a cabo por reacciones

con dihidroxi-compuestos de la materia orgánica (4).

1.1.5. Interacciones con Otros Elementos. En suelos con alto contenido de calcio se presentan generalmente deficiencias de boro, debido a que se aumenta la absorción de calcio y por tanto se aumentan los requerimientos de boro para mantener una relación apropiada entre estos dos nutrimentos. Parece que el potasio y el nitrógeno tienen efectos similares al calcio (23).

1.1.6. Clima. Varios investigadores han encontrado aumento en la retención de boro por el secamiento del suelo. Se cree que el secamiento favorece la sustitución de boro por aluminio en la estructura de aluminio-silicatos. Por otra parte, la falta de agua reduce la mineralización de la materia orgánica y por lo tanto el suministro de boro (4).

1.1.7. Material Parental. En las regiones húmedas la turmalina es la única fuente de boro. Este mineral es altamente resistente a la meteorización. Podría pensarse que la disponibilidad del boro en el suelo no dependiera del contenido de turmalina, pero debido a que este mineral se descompone el boro se hace disponible (4).

1.1.8. Textura. Su efecto es menos importante que el pH o materia orgánica. Los suelos arenosos son generalmente más bajos en boro que los arcillosos debido a la mayor capacidad de retención del nutrimento de estos últimos. (4).

1.2. Toxicidad de Boro.

La toxicidad de boro puede llegar a ser un problema más grave que la deficien-

cia. Podría haber toxicidad en los siguientes casos (17):

- a) Suelos de regiones áridas o semi-áridas que reciben aguas de drenaje provenientes de sedimentos marinos ricos en boro;
- b) Suelos regados con agua con más de 0.5 ppm de boro;
- c) Suelos altamente fertilizados con boro.

1.3 Situación en Colombia

Se ha encontrado deficiencia de boro en suelos diferentes y bajo condiciones ecológicas variables. Las causas han sido poco estudiadas. En el Valle del Cauca se encontró que la deficiencia estaba asociada con (a) boro hidrosoluble menor de 0.3 ppm; (b) bajo contenido de boro total (15 ppm); (c) altos contenidos de carbonato de calcio; (d) pH superior a 7.3; (e) bajo contenido de carbón orgánico; (f) alta densidad aparente (mayor de 1.4 g/cc.); (g) desarrollo de características vérticas en el perfil; (h) alto contenido de arcillas de relación 2:1; (i) alta proporción de vermiculita en la fracción arcilla; (j) ausencia de turmalina u otro mineral que aporte boro; (k) alta capacidad de fijación de boro (16).

1.4 Corrección de las Deficiencias y la Toxicidad de Boro.

En general la forma de corregir las deficiencias y toxicidad depende del cultivo y del suelo principalmente. Como fuentes de boro se tienen el bórax con 10-11% de boro y solubor con 20% de boro. La corrección de deficiencia puede hacerse aplicando el fertilizante boratado al suelo o haciendo aspersiones foliares.

La toxicidad puede corregirse lavando el exceso de boro, elevando el pH o aumentando la cantidad de calcio disponible para la planta. (320).

En general para corregir deficiencias de boro en trigo y cebada se puede aplicar a la siembra 10-12 Kg/ha de bórax o hacer tres aspersiones foliares de solubor y con solución al 0.25% a intervalo de 10 días empezando al mes de la germinación.

2. CLORO.

La esencialidad del cloro fue demostrada por Broyer y colaboradores (12). Posiblemente interviene en el metabolismo del agua. Estimula la fosforilación en la fotosíntesis, pero su papel exacto en este proceso aun no ha sido definido. La deficiencia de este nutrimento se manifiesta porque las hojas presentan marchitamiento y clorosis; en el caso del tomate se observa una tonalidad bronceada característica. Algunas especies de plantas son sensibles al exceso de cloruros, principalmente manifestando reducción en la calidad de la cosecha. Tal es el caso del tomate, papa y tabaco.

En el suelo, el cloruro está presente principalmente en forma iónica soluble. La fijación o adsorción de cloruros decrece cuando aumenta el pH (30).

Para corregir deficiencias de cloro puede emplearse el cloruro de amonio, el cloruro de potasio, el cloruro de calcio, el cloruro de magnesio o en último caso el cloruro de sodio. Por su parte el exceso de éste nutrimento puede corregirse por lavado después de convertir los cloruros insolubles a solubles.

En Colombia no se ha reportado deficiencia del cloro. Por su parte el exceso de cloruros existe en varias zonas salinas del país.

3. COBRE.

En el año de 1927 Bortels demostró su esencialidad para las plantas inferiores; en 1931 Sommer, Lipman y Mackinney determinaron su esencialidad para las plantas superiores (36).

En estado natural el cobre se presenta como cobre metálico, minerales de cobre, sales neutras insolubles, compuestos solubles en agua, cobre adsorbido por las arcillas

y cobre formando compuestos con la materia orgánica en la mayoría estables.

En relación con la interacción del cobre con otros elementos se ha encontrado que altos niveles de N y P puede inducir deficiencia de cobre; existe un antagonismo mutuo entre cobre y molibdeno. Parece que el cobre interfiere con la función del molibdeno en la reducción enzimática de los nitratos. Por su parte el exceso de zinc puede inducir deficiencia de cobre. En suelos con deficiencia simultánea de Zn y Cu se necesita cuidadoso control en la rata de aplicación de Zn especialmente en suelos de textura gruesa. Por otra parte existe interacción negativa cobre x hierro. En algunos cultivos como avena por ejemplo, es necesario la aplicación simultánea de estos dos nutrimentos para aumentar los rendimientos (33).

3.1. Factores que Afectan la Disponibilidad de cobre en el Suelo.

Los factores afectan la disponibilidad del cobre en el suelo son principalmente la materia orgánica, el pH, otros elementos como Ca, P, Al, Fe, Zn y Mo (44).

La materia orgánica, es un factor importante ya que la retención de cobre aumenta con el contenido de materia orgánica.

Al aumentar el pH disminuye la disponibilidad de este nutrimento.

3.2. Deficiencia de Cobre en el Suelo.

Los tipos de suelo donde podría haber deficiencia de cobre son: a) Suelos orgánicos, b) Arenas cuarcíticas, c) Suelos calcáreos, d) Suelos fuertemente fertilizados con nitrógeno, e) Suelos ácidos naturalmente pobres en cobre que se han encalado excesivamente (36).

La corrección de deficiencias de cobre puede hacerse utilizando Varios compuestos, algunos de los cuales aparecen en la Tabla

TABLA 1. Algunos compuestos de cobre usados para aplicación foliar o al suelo.

Fuente	Fórmula	% Cu
Sulfato cúprico pentahidratado	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	23
Sulfato cúprico monohidratado	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35
Azurita	$2 \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55
Oxido cuproso	Cu_2O	89
Quelatos de cobre	$\text{Na}_2 \text{Cu-EDTA}$	13
	$\text{Na}_2 \text{Cu-HEDTA}$	9
Poliflavonoides cobre	NaCuHEDTA	5 - 7

Algunos de los productos anteriores pueden aplicarse al suelo, tratamiento a la semilla o vía foliar. Las cantidades dependen del suelo, del cultivo y del método de aplicación. es de anotar que se debe tener en cuenta el efecto residual de las aplicaciones de cobre, para evitar acumulación del nutrimento a niveles tóxicos. Este factor depende de la magnitud de la aplicación y del tipo de suelo (32).

La toxicidad de cobre se presenta generalmente en suelos de bajo contenido de arcilla y materia orgánica; igualmente se puede presentar el problema en zonas cultivadas con plantas asperjadas continuamente con fungicidas a bases de cobre. Generalmente la toxicidad se corrige con encalamiento o con adiciones de hierro (36).

Para corregir deficiencias de cobre en trigo y cebada se puede aplicar a la siembra 15-20 Kg/ha de sulfato de cobre del 23% de cobre al voleo; para siembra en surcos aplicar el fertilizante en banda en la cantidad de 12-15 Kg/ha.

3.3. Situación en Colombia

En Colombia se ha encontrado respuesta del algodón, el sorgo y el ajonjolí a la aplicación de cobre, en suelos del Tolima y Huila (14). En Cundinamarca en suelos con alto contenido de materia orgánica, principalmente en avena, pudiéndose observar en este caso respuesta diferente de acuerdo con la variedad (22).

3.4. Determinación de Cobre Disponible.

Una gran variedad de soluciones extractantes han sido utilizadas para determinar el nivel de cobre disponible en el suelo. Algunos han tenido éxito, pero muchos investigadores están de acuerdo en que aún se necesita más investigación a este respecto especialmente si se considera, como ocurre con otros micronutrientes, que la respuesta varía con los cultivos tal como se observan en la Tabla 25 (29).

4. HIERRO.

La esencialidad del hierro para las plantas fue demostrada en soluciones nutritivas hace más de un siglo después de los trabajos de Gris (35).

4.1. Disponibilidad de Hierro.

Los principales factores del medio que gobiernan la disponibilidad del hierro para las plantas son (30):

4.1.1. Cantidad Total de Hierro Presente. En igualdad de condiciones un suelo con mayor cantidad de hierro total puede aportar más hierro a la planta, que un suelo más pobre en dicho nutriente.

4.1.2. pH del Suelo. A pH elevado es bastante común la carencia de hierro. Esto

se debe probablemente de la conversión del Fe^{++} a Fe^{+++} , oxidación seguida por la precipitación de $Fe(OH)_3$ de baja disponibilidad para la planta.

TABLA 2 Respuesta más común a micronutrientes para algunos cultivos (29).

Cultivo	Boro	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	Molibdeno
Alfalfa	Alta	Alta	Media	Media	Baja	Media
Manzana	Alta	Media	Baja	Alta	Alta	Baja
Cebada	Baja	Alta	Alta	Media	Media	Baja
Frijol	Baja	Baja	Alta	Alta	Alta	Baja
Repollo	Media	Media	Media	Media	-	Media
Coliflor	Alta	Media	Alta	Media	-	Alta
Maíz	Baja	Media	Media	Baja	Alta	Baja
Algodón	Media	Media	Baja	Media	Alta	Baja
Avena	Baja	Alta	Media	Alta	Baja	Media
Tomate	Media	Media	Alta	Media	Media	Media
Soya	Baja	Baja	Alta	Alta	Media	Media
Trigo	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Baja
Rosas	Alta	Baja	Alta	Alta	Baja	Baja
Papa	Baja	Baja	Baja	Media	Media	Baja
Sorgo	Media	Media	Alta	Alta	Alta	Baja
Arroz	Baja	Baja	Alta	Media	Media	Baja
Naranja	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Media
Jiras	Media	Bajas	Alta	Alta	Baja	Baja

4.1.3. Grado de Aireación. La presencia de oxígeno favorece la conversión del hierro a formas insolubles. En suelos inundados o sobresaturados de agua se produce solubilización debido a las condiciones reductoras imperantes.

4.1.4. Concentraciones de Manganeso, Cobre y Zinc.

Concentraciones elevadas de estos elementos pueden inducir deficiencia de hierro. En algunos casos el exceso de fósforo también puede ocasionar el mismo problema. Parece que el anión HCO_3^- interfiere en el metabolismo del hierro.

4.2. Interacciones del Hierro con Otros Elementos.

Es de anotar que el hierro se encuentra involucrado en las siguientes interacciones: a) Hierro x Fósforo, b) Zinc x Hierro, c) Hierro x Manganeso, d) Hierro x Molibdeno y e) Cobre x Hierro (33).

4.3. Factores que Afectan la Absorción y Utilización del Hierro por las plantas.

4.3.1. La concentración de las formas absorbibles en solución.

4.3.2. El "factor capacidad" que renueva la provisión de formas absorbibles solubles, cuando la concentración baja a consecuencia de la absorción por parte de las plantas o por otros medios.

4.3.3. Los factores que afectan la velocidad de movimiento de la forma absorbible hacia la superficie de la raíz, por difusión o por flujo de masa.

4.3.4. Los factores que afectan la velocidad de absorción a través de las membranas radiculares.

4.3.5. Los factores que afectan el transporte de las sustancias hasta las regiones

donde van a ser utilizadas.

4.3.6. Los factores que afectan la formación de compuestos dentro de la planta (18).

4.4. Corrección de Deficiencias.

En suelos calcáreos y en suelos bajos en materia orgánica generalmente se presentan deficiencias de hierro. En la Tabla 3 aparecen algunas fuentes de fertilizantes de hierro (32). Por su parte en la Tabla 4 se enumeran los ácidos cuyas sales constituyen los quelatos más comúnmente usados como fuentes no solamente de hierro, sino de otros micronutrientes. Por su parte en la Tabla 28, se observan dosis y métodos de aplicación de fertilizantes de hierro para algunos cultivos (32).

TABLA 3 Algunas fuentes de fertilizantes de hierro.

Fuente	Fórmula	% Fe
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	19
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	23
Oxido ferroso	FeO	77
Oxido férrico	Fe_2O_3	69
Fosfato amónico ferroso	$\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{PO}_4\text{H}_2\text{O}$	29
Fritas (vidrios) de hierro	Varias	Varias
Quelatos de hierro	NaFeEDTA	5-14
	NaFe HEDTA	5-9
	NaFe DT PA	10
	NaFeEDDHA	6
	Fe APCA	11
Poliflavonoides de hierro		9-10
Lignisulfonatos de hierro		5-8

TABLA 4. Algunos de los quelatos comunmente usados en agricultura.

Para cobre, hierro, manganeso y zinc son sales de los siguientes ácidos:

Abreviaturas	Nombre del ácido
EDTA	Acido etilendiamino tetra acético
HEDTA	Acido hidroxyl etilendiamino tetraacético
DTPA	Acido dietilenetriamino penta acético
EDDHA	Acido etilenediamino di (o-Hydroxifenil-acético)
EGTA	Acido etilenglicol-bis (2-aminoetileter-tetraacético)

La efectividad de estas ha sido extremadamente variable debido a las reacciones que ocurren entre el hierro aplicado y los componentes del suelo. Algunos de estos fertilizantes pueden aplicarse al suelo o por vía foliar. Para suelos calcáreos, por ejemplo, pueden utilizarse aspersiones foliares de sulfato ferroso, ó la aplicación al suelo de Fe-ADDHA. En general se recomienda que las aplicaciones al suelo se hagan antes o al momento de la siembra en combinación con fertilizantes nitrogenados para aumentar la eficiencia en la toma de hierro. Algunos investigadores están de acuerdo en que la aplicación de hierro vía foliar parece más recomendable que la aplicación al suelo para corregir deficiencias de hierro (38).

La tabla 5. muestra las dosis de hierro recomendadas para corregir deficiencias (32).

En Colombia se han detectado deficiencias de hierro en la Costa Atlántica y en algunas zonas de suelos calcáreos.

5. MANGANESO

Los trabajos de Bertrand (1897-1926) demostraron la esencialidad del manganeso pa-

ra las plantas (25).

TABLA 5. Dosis recomendadas de hierro para varios cultivos.

Cultivo	Fuente de Fe	Método de aplicación	Nivel
Sorgo de grano	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Foliar	1.25 Kg/100 litros de agua
Hortalizas	Quelatos	Foliar	0.5-1.10 Kg Fe/ha
Cítricos	Quelatos	Localizado	12-24 gr Fe/árbol
Fríjol	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Foliar	600 gr/200 litros de agua
Frutales perennes	Poliflavonoide	Foliar	60-100 gr/100 litros de agua
Trigo y cebada	EDDHA	Localizado	12-15 Kg/ha.

5.1 Interacción con Otros Elementos.

El exceso de manganeso puede inducir desorden en el metabolismo del molibdeno. La principal interacción es la del manganeso con el hierro. Se ha reportado que el manganeso interviene en el transporte del hierro de la raíz al rallo; la absorción de hierro por las raíces puede aumentarse incrementando la concentración de manganeso en el substrato. Por su parte parece que el exceso de hierro reduce la toma de manganeso por la planta (33).

5.2 Factores que Afectan la Absorción de Manganeso por las Plntas.

Los factores principales son;

5.2.1 Concentración de las formas solubles y susceptibles de absorberse.

5.2.2 Factores de capacidad que afectan el transporte hasta la superficie de la raíz.

5.2.3. Los factores que afectan la absorción, transporte y utilización dentro de la planta. En casi todos los suelos pobres en materia orgánica las formas absorbibles son los iones Mn^{++} cuya concentración de equilibrio está regulada por el pH y el potencial de oxidación. Por tanto las deficiencias en estos suelos pueden ocurrir a pH alcalino y bajo condiciones de oxidación. Por su parte las toxicidades ocurrirán a bajos valores de pH y bajo condiciones de reducción total o parcial. La actividad microbiana es importante debido a la oxidación selectiva del Mn^{++} que realizan ciertos microorganismos (18).

5.3. Factores que Afectan la Disponibilidad de Manganeso.

Los factores más importantes que afectan la disponibilidad de manganeso para las plantas están relacionados con las propiedades físicas, químicas y biológicas que influyen en la forma Mn^{++} que es la asimilable. Algunos de esos factores se discuten a continuación.

5.3.1. Materia Orgánica. En suelos altos en materia orgánica y pH cercano a la neutralidad ocurre deficiencia de manganeso, posiblemente debido a la formación de complejos insolubles entre aquella y éste micronutriente. A bajos valores de pH y en presencia de elevadas cantidades de materia orgánica también puede ocurrir deficiencia de manganeso.

5.3.2. pH. En general la disponibilidad de manganeso disminuye al aumentar el pH. Tisdale (44) encontró una correlación negativa entre la cantidad de manganeso divalente extraído con acetato de amonio y el pH del suelo. En la Figura se observa esta tendencia.

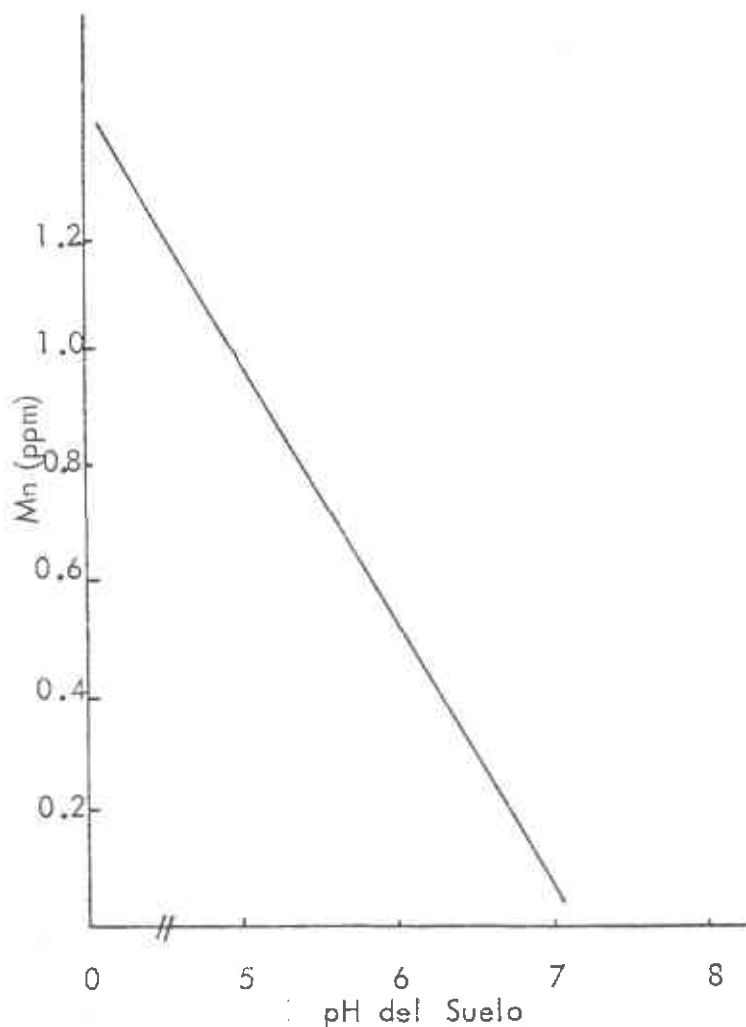


FIGURA 1. Relación entre pH del suelo y manganeso extraído con acetato de amonio (44).

La alcalinidad resultante del encalamiento reduce la solubilidad y disponibilidad del manganeso debido a la oxidación.

5.3.3. Condiciones de Oxido-Reducción. Condiciones de reducción (sobre saturación, compactación, etc) pueden inducir reducción de las formas mangánicas a manganeso divalente aprovechable, el cual puede acumularse hasta llegar a niveles tóxicos para la planta. Por su parte condiciones de oxidación como ya se dijo pueden inducir deficiencia en ciertos casos por paso de Mn^{++} a formas más oxidadas de baja disponibilidad para la planta.

5.4 Suelos con Posible Deficiencia de Manganeso (25).

Los principales tipos de suelo en los cuales puede ocurrir deficiencia de manganeso son: a) Suelos desarrollados sobre material calcáreo, b) Suelos aluviales derivados de materia calcárea, c) Suelos arenosos minerales ácidos bajos en Mn nativo, d) Suelos altamente orgánicos calcáreos pobremente drenados, e) Suelos calcáreos.

5.5 Corrección de Deficiencias

Varias fuentes orgánicas e inorgánicas, y métodos de aplicación han sido utilizados para la corrección de deficiencias de manganeso. En la Tabla 6 aparecen algunos fertilizantes de manganeso.

Generalmente la aplicación de sulfato de manganeso vía foliar o al suelo ha tenido éxito. Por su parte los quelatos han tenido buen éxito principalmente vía foliar. Cuando la aplicación es localizada la cantidad empleada es menor que cuando se aplica al voleo. Por ejemplo 5.6 Kg/ha de Mn como MnSO_4 en banda fue equivalente a 67 Kg/ha de Mn al voleo para corregir eficiencia en soya. En árboles frutales la aplicación foliar es una buena técnica. Por ejemplo la aplicación anual de 1.12 Kg/ha de Mn como MnSO_4 ha corregido deficiencias en naranjas y mejorado el rendimiento. En la Tabla 7 aparece los niveles y fuentes de fertilizantes de manganeso aplicados para corregir deficiencias del nutrimento (32).

En relación con el efecto residual, algunos estudios han mostrado que cuando se aplican altas cantidades de Mn, ocurre respuesta residual. En general cuando la fuente es Mn-EDTA o fritas de Mn el efecto es mayor que cuando es MnSO_4 . Sin embargo, cuando las dosis son medias, no se observa efecto residual en rendimiento bajo condiciones de campo (32).

TABLA 6 Fertilizantes de manganeso comunmente empleados.

Fuentes	Fórmulas	% Mn
Sulfato de manganeso	$MnSO_4 \cdot 3H_2O$	26-28
Oxido manganeso	MnO	41.-68
Quelato de manganeso	MnEDTA	12
Poliflavonoides de manganeso		8-10
Oxido mangánico	MnO_2	63
Fritas de manganeso (vidrio)		10-25

TABLA 7° Niveles de fertilizantes de Mn aplicados al suelo para algunos cultivos.

Cultivo	Fuente de Mn	Dosis de Mn (kg/ha)	Método de aplicación
Soya	$MnSO_4 \cdot 3H_2O$	67	Voleo
Soya	$MnSO_4 \cdot 3H_2O$	6	Banda
Cebolla	$MnSO_4$	11	Banda
Cebolla	$MnSO_4$	60	Voleo
Cebolla	$MnSO_4$	4	Foliar
Algodón	$MnSO_4 \cdot 3H_2O$	2	Banda
Soya	MnEDTA	0.51*	Foliar
Trigo y Cebada	$MnSO_4 \cdot 3H_2O$	5	Banda

* : Tres aspersiones de 0.17 Kg/ha cada una.

La toxicidad de manganeso puede corregirse por encalamiento y mejorando las condiciones de oxidación del suelo.

7.5.6. Situación en Colombia.

En un estudio que incluyó 15 series de suelos de la Sabana de Bogotá, Benavides (3) concluyó que con excepción de la Serie Zipaquirá, el contenido total de manganeso en la capa arable está dentro de los límites normales. En la mayoría de las series estudiadas se encontró que las formas reducidas están por debajo de los límites reportados por la literatura como normales.

Investigaciones realizadas por el Programa de Suelos del ICA han mostrado deficiencia de manganeso en las series Bermeo y Tibaitatá, principalmente con respuestas altamente significativas en frijol y avena forrajera, y aumentos hasta de 5 t/Ha en papa. Bajo condiciones de invernadero ha habido respuesta de este nutrimento en la serie Tibaitatá y en algunos suelos de Boyacá, cuyo pH es igual o mayor de 6 (20). Castro (7) concluyó que los contenidos de las distintas fracciones de Mn en los suelos de clima medio de Nariño son relativamente altos; para suelos de clima frío del altiplano de Pasto, Velasco (45) encontró valores bajos tanto de Mn total como de las formas activas. En suelos de Santander de Quilichao y Villarica, (Cauca) Dulcey y Ortega (11) encontraron altos contenidos de Mn total y cambiante y sugieren posibles problemas de toxicidad de este nutrimento para los cultivos.

Igual problema podría presentarse en suelos de Jamundí (Valle). Para la zona cafetera del departamento de Caldas, López (26) reporta valores muy bajos de manganeso intercambiable, y observó que al hacer aplicaciones de cal se provocan síntomas

visuales de este nutrimento en café. Brugés (6) encontró respuesta a la aplicación de Mn en pasto ~~Marawa~~ bajo condiciones de invernadero en algunas series de suelos de la Estación Experimental Caribia del ICA localizada en el departamento del Magdalena. Ortega (34) concluyó que los Inceptisoles de Tibaitatá, tienen buenas reservas de manganeso y que su disponibilidad depende del manejo del suelo y del cultivo.

6. MOLIBDENO

En el año de 1939, Arnon y Scout demostraron la esencialidad de este nutrimento para las plantas superiores. Se sabe que ayuda a la fijación de nitrógeno del aire por las bacterias del género *Rhizobium* en simbiosis con las leguminosas. Es un fuerte activador de la enzima nitrato reductasa, la cual es esencial en la asimilación de nitratos puesto que cataliza la primera etapa de la reducción NO_3 a NH_4 . Igualmente parece que está implicado en el metabolismo del fósforo y del ácido ascórbico (30). Valores de 0.1 a 0.5 ppm expresados en base seca y para la parte aérea de la planta son los de mayor ocurrencia (30).

La mayoría del molibdeno aprovechable del suelo se encuentra acumulado en la parte superior del mismo. Excepto para suelos arenosos, el molibdeno adicionado en forma soluble es rápidamente convertido en formas menos solubles (42).

6.1 Deficiencia y Exceso.

Cuando el molibdeno aprovechable está más bajo de 0.1 ppm, en general las plantas muestran deficiencia.

El suplemento del molibdeno en los suelos puede caracterizarse de acuerdo con la ecuación: $\text{pH} + (10 \times \text{Mo total en ppm})$. Valores menores de 6.3 a 8.2 significan pobre suministro de este nutrimento (9). Por su parte suelos con más de

100 ppm de Mo total se consideran inutilizables por toxicidad (9). Pastos con más de 5 ppm pueden ser tóxicos e inducir el problema denominado molibdenosis.

En general puede esperarse deficiencia de molibdeno bajo las siguientes circunstancias: a) En suelos con cantidades adecuadas de molibdeno total pero con pH inferior a 6.0, en los cuales el elemento es adsorbido por minerales y coloides; b) En suelos muy meteorizados; c) En suelos con alto contenido de alofano; d) En suelos con bajo contenido de molibdeno total con pH neutro o alcalino, cultivados intensamente por varios años; e) Suelos arenosos lavados; f) Regosoles ácidos (inceptisoles); g) Podzoles ácidos (Spodosoles); h) Suelos orgánicos ácidos (Histosoles) (10,29).

La toxicidad generalmente se presenta en suelos alcalinos orgánicos, en suelos derivados de deposiciones volcánicas recientes, y en suelos esqueléticos de colina, derivados de arcillolita o areniscas (9). En Colombia posiblemente las zonas seleníferas tienen exceso de molibdeno, ya que los contenidos de este elemento en maíz, trigo, avena y arveja en una zona selenífera como es Villa de Leiva son los más altos entre 50 especies recolectados en todo el mundo (37). Por otra parte en las pizarras existe alto contenido de selenio y molibdeno, presentándose toxicidad de estos elementos tal como ocurre en los suelos de la formación Villeta.

6.2. Factores que afectan la aprovechabilidad del molibdeno.

6.2.1. Reacción. La reacción del suelo es uno de los factores considerados como primordiales en la aprovechabilidad de este nutrimento (10). La disponibilidad aumenta con el pH debido a que la liberación del molibdeno es el resultado de un intercambio aniónico entre los iones molibdeno e hidróxido, según la siguiente reacción(40):



6.2.2. Adsorción y Retención. El anión molibdato es adsorbido por las partículas coloidales cargadas positivamente. El hidróxido de hierro puede adsorberlo posiblemente debido a intercambio de iones OH^- . Los óxidos de hierro adsorben molibdeno con mayor fuerza que los óxidos de aluminio, la caolinita y la nontronita (24).

7.6.2.3. Otros. En suelos pantanosos o turbosos la deficiencia de molibdeno está relacionada con la retención del molibdeno por los ácidos húmicos insolubles derivados de turba (9). Por otra parte las condiciones de sequía aumentan la deficiencia de este nutrimento (9).

6.3. Interacción del Molibdeno con Otros Elementos.

Las principales interacciones del molibdeno con otros elementos son los siguientes:

6.3.1. Molibdeno -Fósforo: Se ha encontrado mayor absorción de molibdeno por la planta por la adición de fósforo (33).

6.3.2. Molibdeno-Azufre. En presencia de azufre se reduce la absorción de molibdeno por las plantas debido a que los iones $\text{MoO}_4^{=2}$ y $\text{SO}_4^{=2}$ compiten durante la etapa de absorción por parte de las raíces (33).

6.3.3. Molibdeno-Hierro. Con concentraciones altas de molibdeno en presencia de bajos niveles de hierro, se presenta clorosis y disminución en el rendimiento debido posiblemente a interferencias en el metabolismo del hierro (33).

6.3.4. Molibdeno y Cobre. En suelos turbosos se ha encontrado antagonismo mutuo entre cobre y molibdeno (33). Igualmente el cobre interfiere en el papel del molibdeno en la reducción enzimática de los nitratos (33).

6.4. Corrección de Deficiencias.

Para corregir deficiencias de molibdeno se utiliza el encolado y la fertilización con compuestos de molibdeno o los dos métodos combinados.

Las fuentes de molibdeno empleadas como fertilizantes aparecen en la Tabla 8. (32).

Los métodos de aplicación son: Aplicación directa al suelo, aspersiones foliares y tratamiento a la semilla. La dosis depende del tipo de suelo, método de aplicación, especie de planta y características como pH, contenido de fosfatos, sulfatos y manganeso del suelo. El exceso de fertilizantes debe tenerse en cuenta especialmente en zonas de pastoreo o producción de forrajes. (32).

En la Tabla 9 aparecen las cantidades de molibdato de amonio y de sodio para varios cultivos. Nótese que en general la dosis recomendada es bastante pequeña (32).

El tratamiento a la semilla es un método muy utilizado y presenta varias ventajas como facilidad en la aplicación, economía y efectividad. La cantidad de molibdato a aplicar a la semilla necesaria para una hectárea depende de la especie de planta. Por ejemplo en coliflor se utiliza de 40-60 g de molibdato de sodio. Cantidades en el rango de 10-100 g/Ha de Mo parece que son adecuadas.

Otro método es utilizar semillas de plantas altamente fertilizadas con molibdeno, con lo cual la semilla tendrá alto contenido de este nutrimento, suficiente para abastecer las necesidades del cultivo en suelos deficientes.

Cuando se aplican cantidades adecuadas al suelo, la frecuencia de aplicación es cada tres años (32).

6.5. Situación en Colombia.

Se ha detectado deficiencia de molibdeno en algunas zonas del país. En suelos rojos de Antioquia (34) se ha encontrado respuesta a molibdeno bajo condiciones de invernadero. En suelos de la Sabana de Bogotá ha habido respuesta a molibdeno en coliflor, aplicado en forma localizada junto con el fertilizante o por tratamiento a la semilla (28, 31). En el altiplano de Pasto el contenido total de molibdeno es bajo en suelos y sub-suelos (2) y la aplicación de este nutrimento en coliflor incrementó los rendimientos (1).

TABLA 8. Fuentes de molibdeno empleadas como fertilizantes de este elemento.

Fuente	Fórmula	%Mo.
Molibdato de sodio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39
Molibdato de amonio	$(\text{NH}_4)_6 \cdot \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54
Trióxido de molibdeno	MoO_3	66
Sulfuro de molibdeno	MoS	60
Fritas (vidrios) de molibdeno	—	2-3

TABLA 9. Niveles de fertilizantes de molibdeno para algunos cultivos.

Cultivo	Fuente *	Dosis (g/ha)	Método
Coliflor	A	1000 - 1500	Localizado
Cereales	A	750 - 1000	Localizado
Soya	A	400 - 500	Localizado
Caña de azúcar	A	1000 - 1500	Localizado
Leguminosas	A	750 - 1000	Localizado
Cítricos	A	1 onza/10 gln agua	Foliar
Rosas	A	1 onza/6 gln agua	Foliar
Gisantes	A	0.5 onza/gln agua	Foliar

* : Molibdeno de amonio; S = Molibdato de sodio

7. ZINC.

En el año de 1930, Chandler y colaboradores demostraron la esencialidad del zinc para las plantas superiores (8).

7.1 Factores que Afectan la Aprovechabilidad del Zinc.

Los principales factores que influyen en la disponibilidad del zinc para las plan

tas son:

7.1.1. pH. La disponibilidad del zinc disminuye al aumentar el pH del suelo (47). En suelos con pH mayor que 7.0, posiblemente ésto ocurre debido a la formación de zincato de calcio ($ZnO_2 \cdot Ca$) insoluble.

7.1.2. Adsorción y Fijación en Latices Cristalinos.

Reacciones de adsorción del zinc pueden ocurrir en muchos tipos de superficies que incluyen arcillas minerales, materia orgánica y minerales calcáreos (43). Por otra parte, el Zn^{++} es muy semejante al Mg^{++} en tamaño y carga; por ésto, el zinc puede reaccionar con ciertas arcillas para desplazar al Mg^{++} , volviéndose relativamente no asimilable (43).

7.1.3. Concentración de Fósforo. Se ha encontrado que el zinc en la nutrición de la planta está adversamente afectado por un suministro alto de fósforo, principalmente en aquellas plantas con moderada a alta sensibilidad a deficiencia de zinc (5). Parece que el problema se debe a una inhibición en la traslocación del zinc, de las raíces a otras partes de la planta (27).

7.1.4. Algunas Propiedades Físicas del Suelo.

Cuando la densidad aparente del suelo se aumenta, la concentración de zinc en la planta disminuye por efectos en el mecanismo de respiración y por disminución en la difusión del zinc, de la masa de suelo hacia la raíz (46).

7.1.5. Otros Factores. También afectan la disponibilidad de zinc para la planta la materia orgánica, carbonatos, principalmente de calcio y magnesio, óxidos de hierro, potencial de oxidación, contenido de agua del suelo y actividad microbiana.

7.2. Deficiencia.

En general los suelos donde se podría presentar deficiencia de zinc son las siguientes: a) Suelos minerales derivados de materiales pobres en zinc, b) Suelos con pH 7.0, derivados de material calcáreo, c) Suelos orgánicos desarrollados sobre arena cuarcítica pobre en zinc. d) Suelos muy intemperizados y muy encalados, e) Suelos ricos en fósforo aprovechable (8).

7.3. Toxicidad (8).

Es común que se presente la toxicidad de zinc en turbas ácidas de cualquier clase, en suelos contaminados con zinc de operaciones mineras, y en suelos derivados de rocas y materiales altos en zinc.

7.4. Interacción del Zinc con Otros Elementos.

Las principales interacciones del zinc con otros elementos son las siguientes:

7.4.1. Zinc-Fósforo. Posiblemente el efecto deprimente del fósforo sobre el zinc es fisiológico.

7.4.2. Zinc-Nitrógeno. El efecto del nitrógeno sobre la toma y concentración de zinc en la planta depende en muchos casos de ésta. Por ejemplo, en papa y remolacha se aumentó la toma y concentración de zinc con los niveles de nitrógeno aplicados (33). En cítricos y trébol subterráneo, el nitrógeno reduce la toma de zinc.

7.4.3. Zinc-Magnesio. Parece que el magnesio libera zinc de compuestos relativamente insolubles (33). Por otra parte, se sugiere que la interacción positiva Mg-Zn ocurre en un mayor grado dentro de la planta que en el suelo.

7.4.4. Zinc-Hierro. Debe existir un balance apropiado entre hierro y zinc. En plan

ras con deficiencia inicial de zinc se agrava el problema al aumentar el hierro (33); por otra parte, al aumentar el zinc se pueden agudizar las deficiencias de hierro.

7.4.5. Cobre-Zinc. En áreas de deficiencia de cobre-zinc, especialmente en suelos de texturas gruesas, el exceso de zinc aplicado induce severas deficiencias de cobre (33) principalmente en trigo y cebada.

7.5. Corrección de Deficiencias de Zinc.

Las fuentes de zinc más comúnmente empleadas para corregir deficiencia de este nutrimento aparecen en la Tabla 10. La cantidad y el método a utilizar dependen del cultivo y tipo de suelo principalmente (32).

TABLA 10 Algunas fuentes de fertilizantes de zinc.

Fuente	Fórmula	% Zn.
Sulfato de zinc monohidratado	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	35
Sulfato básico de zinc	$ZnSO_4 \cdot 4Zn(OH)_2$	55
Oxido de zinc	ZnO	78
Carbonato de zinc	$ZnCO_3$	52
Quelatos de Zinc	$Na_2ZnEDTA$	14
	$NaZnNTA$	13
	$NaZnHEDTA$	9
Poliflavonoides de zinc		10
Fritas (vidrios) de zinc		Varios.

Debido a la baja movilidad del zinc en el suelo, es recomendable aplicarlo al voleo, incorporándolo, en banda debajo y al lado de la semilla o mezclándolo con fertilizantes nitrogenados. No es recomendable aplicarlo sobre la superficie en el suelo (32). La aplicación foliar o el tratamiento a la semilla son también métodos apropiados.

En la Tabla aparecen las dosis de aplicación recomendables para algunos cultivos (32).

La aplicación de zinc al suelo puede tener efecto residual para varias cosechas, mientras que la aplicación foliar solamente sirve para corregir la deficiencia de una cosecha.

Es conveniente evitar la acumulación de cantidades tóxicas de zinc en el suelo. Posiblemente por medio del encalado, aplicaciones de fósforo o por medio de ciertas prácticas de manejo puede corregirse el problema.

7.6. Situación en Colombia.

En algunos suelos del Valle del Cauca hay respuesta altamente significativa a la aplicación de zinc en arroz; cantidades de 10 kg de Zn/Ha al suelo o tratamientos de 100 kg de semilla con 10 kg de Zn, utilizando óxido de zinc como fuente, han dado buenos resultados (15). En el sur del Tolima, el tratamiento a la semilla de arroz ha dado buenos resultados para corregir deficiencias de zinc (33). En cítricos localizados en el Valle del Cauca, Pacho (Cundinamarca), Llanos Orientales (a encalar) y otras zonas del país, se han observado deficiencias severas de zinc. Por su parte en suelos de la serie Tibaitatá, ha habido respuesta a la aplicación de

zinc en papa, trigo y haba; igualmente al aplicar dosis altas de fósforo en maíz se vió la necesidad de aplicar paralelamente zinc (19).

TABLA 11. Dosis de zinc recomendadas para varios cultivos

Cultivos	Fuente	Dosis de Zn (Kg/ha)	Método de aplicación
Maíz	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	7 - 3	Voleo o Banda
Maíz y sorgo	Quelatos y poliflavonoides	0.4 - 4.5	Banda
Arroz	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	8 - 10	Voleo
Arroz	Quelato	1 - 2	Voleo
Cítricos	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	265 g Zn/100 litros agua	Foliar
Papa	Zno	10 - 12	Banda
Cebolla y frijol	Quelato	3 - 5	Banda
Trigo y Cebada	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	6 - 3	Voleo o Banda

8. ELEMENTOS MENORES EN NUTRICION ANIMAL.

Aun cuando el presente artículo no tiene por objeto informar sobre la importancia de los micronutrientes en los animales, es conveniente tener en cuenta que tanto los animales como el hombre derivan de las plantas su alimento. en esta forma, en muchos casos el estado nutricional del hombre o del animal, dependerá del nivel de ciertos nutrientes en la planta.

Los elementos esenciales para los animales y el hombre son: calcio, fósforo, sodio, potasio, cloro, magnesio, manganeso, zinc, hierro, cobre molibdeno, sele-

nio, yodo y cobalto (39). Cantidades altas de ciertos elementos como molibdeno y selenio, por ejemplo, pueden ser tóxicas para el animal o el hombre. En Colombia existen zonas denominadas seleníferas donde los pastos y otras plantas extraen selenio en cantidades que son tóxicas para el animal, produciendo el trastorno denominado seleniosis. Posiblemente el contenido de molibdeno en estas mismas zonas es alto, llegando a niveles tóxicos para el animal y produciendo el trastorno denominado molibdenosis.

Un plan para solucionar el problema del exceso de selenio debe incluir lo siguiente: a) Reconocimiento y mapeo de zonas seleníferas; b) Inventario de plantas seleníferas (0.5 ppm de Se); d) Recuperación de suelos seleníferos y ^{la} tratamiento de animales afectados. En este momento el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el Instituto Geográfico y la Universidad Nacional están trabajando para resolver el problema.

9. CONCLUSIONES.

Hay acuerdo entre los investigadores sobre la importancia de los micronutrientes para asegurar buenos cultivos, y hombres y animales saludables, lo mismo que en el peligro que encierra el uso indiscriminado de estos elementos, algunos de los cuales son deletéreos a ciertas dosis. Es por tanto necesario su comportamiento en el suelo, y los factores que afectan su disponibilidad, su bioquímica y sus efectos en la fisiología de plantas, animales y hombres. Se necesita la integración de varias disciplinas para alcanzar buenos resultados en este aspecto.

En Colombia, en algunas zonas, existen serios problemas de deficiencia o

toxicidad de micronutrientes que afectan a plantas y animales. Es necesario más investigación la cual es muy costosa, para resolver paulatinamente ciertas incognitas relacionadas con los elementos menores, lo cual permitirá obtener más y mejores cosechas y mejorar la salud de hombres y animales.

BIBLIOGRAFIA.

1. ARAGON, B., M. MONTES y R. GUERRERO. 1971. Estudio del efecto del B, Mo y Cal sobre la coliflor en dos suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 3(1):39-54.
2. BARROS, P. 1972. Determinación de Mo, Cu en algunos suelos del altiplano de Pasto. In: Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, U. de Nariño, Fac. de Ciencias Agrícolas. pp.74-76.
3. BENAVIDES, T.S. 1959. Estado del manganeso en los suelos de la Sabana de Bogotá. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Publicación IT.1. Bogotá, Colombia. 44 pp.
4. BERGER, K.C. and TROUG, E. 1949. Boron in soils and crops. *Advance in Agronomy*, 1:321-351.
5. BROWN, A.L., B.A. KRANTS and J.L. EDDINGS. 1970. Zinc-phosphorus Interactions as measured by plant response and soil analysis. *Soil Sci.* 110:415-420.
6. BRUGES, J.A. 1975. Evaluación general de los micronutrientes en la estación experimental Caribia. Tesis M.S. Bogotá, U.N.ICA 117 p.
7. CASTRO, J.P. 1972. Formas de Mn en suelos de clima medio del Departamento de Nariño. In. Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, U. de Nariño. Fac. Ciencias Agrícolas. pp. 77-78.

8. CHAPMAN, H.D. 1966. Zinc. In: Diagnostic criteria for plants and Soils. University of California, Division of Agriculture Sciences. pp. 484-499.
9. CHENG, B.T. and ONELLETT, G.J. 1973. Molybdenum as a plant nutrient. Soil Fert. 36:207-215.
10. DAVIS, E. B. 1956. Factors affecting molybdenum availability in soil. Soil Sci. 81:209-221.
11. DULCEY, G. y J. ORTEGA. 1972. Fraccionamiento de Mn en los suelos del Norte del departamento del Cauca. Tesis I.A. Pasto, Univ. de Nariño Fac. de Ciencias Agrícolas. 64 p.
12. EATON, F.M. 1966. CHLORINE. In: Diagnostic criteria for plants and Soils. University of California, División of Agricultura Sciences. pp. 98-135.
13. ELLIS, B.G. and Knezek, B.D. 1972. Adsorption reactions of micronutrients in soils. In: Micronutrients in Agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. pp. 59-75.
14. FASSBENDER, H.W. 1975. Química de Suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA. pp. 362-365.
15. FLOR, C.R. CHEANEY y P. SANCHEZ. 1973. El problema de la deficiencia de Zn en arroz. In: ICA, Programa Nacional de Arroz, V. Reunión Anual. pp. 109-122.

16. GARAVITO, F.N. 1976. Propiedades del suelo en relación con deficiencias de Boro en el Valle del Cauca. Tesis, M.S. Programa de Estudios para Graduados Universidad Nacional- Instituto Colombiano Agropecuario. pp.1-86.
17. GORDON, R. B. 1966. BORON, In: Diagnóatic Criteria for Plants and Soils. University of California. División of Agricultural Sciences. pp. 33-61.
18. HODSON, J. 1963. Chemistry of the micronutrient elements in soils. *Advances in Agronomy*. 15:119-159.
19. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1970. Informe Anual de Progreso. Programa Suelos. Regional No.1. pp. 37.
20. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Programa Suelos. 1973. Informe de Labores Programa Suelos.
21. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Programa Suelos.1974. Informe Anual de Progreso 1973. 52 p.
22. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Programa Suelos. 1975. Informe Progreso. Regional No.1 ICA (Mimeografiado) pp.1-36.
23. JONES, H.E. and SCARSETH, G.D. 1944. The calcium-boron relationship in plants as related to boron needs. *Soil Science*. 57:15-24.
24. JONES, L.H.P. 1957. The solubility of molibdenum in simplified systems and aqueous soil suspensión . *J. Soil Sci*. 8:313-327.

25. LABANAUSKAS, CH.K. 1966. Manganese. In: Diagnostic criteria for plants and Soils. University of California, Division of Agricultural Sciences. pp.264-285.
26. LOPEZ, M.A. 1969. Problemas de Fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas en América Latina. Io. Turrialba, Costa Rica.
27. LORA, S.R. 1968. Availability and distribution of zinc and other micronutrient cations in the corn plant as influenced by phosphorus fertilization. M.S. Thesis. North Carolina State University. 124 p.
28. LORA, R. y F. HIGUITA. 1969. Respuesta de la coliflor a cal molibdeno. Agric. Tropical. 25:437-475.
29. LUCAS, R.E. and B.D.K. Kuezek, 1972. Climatic and Soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In: Micronutrients in Agriculture. Madison, Wisconsin, Soil Sci. Society of American. pp. 265-283.
30. MALAVOLTA, E. 1975. Deficiencias Minerales. In: Fitopatología-Curso Moderno. Tomo IV. Editorial Hemisferio Sur. Argentina. Dirigido por Abel A. Sarasola. pp:66-166.
31. MOTTA de M.B. 1976. Efectos de dos métodos de fertilización con molibdeno en los rendimientos de la coliflor (Brassica oleracea) var. Bola de Nieve en un suelo de la Serie Mosquera pp.88.

32. MURPHY, L.S. and L.M. Walsh. 1972. Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. In: *Micronutrients in Agriculture*, Madison, Wisconsin. Soil Science Society of America. pp 347-387.
33. OLSEN, S.R. 1972. Micronutrient interactions. In: *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. pp 243-264.
34. ORTEGA, J. 1976. Disponibilidad de micronutrientos de varias series de Suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá. Tesis M.S. UN-ICA. Bogotá. 154 pp.
35. PRICE, C.A. H.E. CLARK and E.A. FUNKHOUSER. 1972. Functions of Micronutrients in plants. In: *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisconsin. Soil Science Society of America. pp:231-242.
36. REUTHER, W. and Ch. K. Labanauskas. 1966. Copper. In: *Diagnostic Criteria for plants and soils*. University of California, Division of Agricultura Sciences, pp. 157-179.
37. ROBINSON, W.O. and G.E. Edgington, 1948. Toxic aspect of molybdenum in vegetation. *Soil Sci.* 66:197-198.
38. SANCHEZ, G., 1974. Respuesta del arroz a la aplicación de elementos menores. Ibagué ICA, Programa Nacional de Suelos. (Mecanografiado)
39. SCOTT, M.L. 1972. Trace elements in animal nutrition. In: *Micronutrients in Agriculture*. Madison. Wisconsin, Soil, Sci. of America. pp:555-591.

40. SCOUT, P.R. and C.M. JOHNSON, 1956. Molybdenum deficiency in horticultural and field crops. *Soil Sci.* 81:183-190.
41. SIMS, J.R. and F.T. BINGHAM, 1967. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials: II. Sesquioxides. *Soil Science Society America Proceedings.* 32:364-369.
42. SMITH, B.H. G.W. LEEPER, 1969. The fate of applied molybdate in acidic Soils. *J. Soil Sci.* 20:246-254.
43. THORNE, D.W. 1957. Zinc deficiency and its control, In: A.G. Norman (ed) *Advances in Agronomy.* New York. Academic Press. 9:31-65.
44. TISDALE, S.L. and W.L. Nelson. 1967. *Soil fertility and fertilizers.* The McMillan Company. New York. U.S.A. pp:288:356.
45. VELASCO DE LA R., C. 1972. Fraccionamiento de las formas de Mn en los suelos del Altiplano de Pasto. In: Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto. U. de Nariño. Fac. de Ciencias Agrícolas. pp:88-90.
46. WARD, R.C. 1963. Factors responsables for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization. III Effect of soil compaction, moisture level and other properties in P-Zn interactions. *Soil. Sci.Soc. Amer. Proc.* 27:326-330.
47. WEAE, J.I. 1956. Effect of Soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. *Soil Sci.* 110:415-420.