

CAPITULO VII

LOS ELEMENTOS MENORES

Elementos menores, oligoelementos o micronutrientes se denomina a un grupo de elementos esenciales que las plantas requieren en muy pequeñas cantidades. En general los elementos menores aceptados por la mayoría de los investigadores son: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn) Boro (B) y Molibdeno (Mo), aunque también se ha demostrado que el cloro (Cl), es esencial para las plantas.

Tanto la necesidad como el uso de micronutrientes, para una óptima producción de los cultivos, se han incrementado notoriamente en Colombia a partir del año de 1970. Esto se debe a factores tales como : la continua remoción de los nutrientes del suelo por las cosechas, introducción de nuevos cultivos y variedades mejoradas muy sensibles a una deficiencia de estos elementos, a la erosión y lavado de la capa vegetal, y a deficiencias inducidas por prácticas de manejo del suelo tales como, el uso indiscriminado de fertilizantes fosfatados que producen serios problemas relacionados con la absorción y utilización del Zn por las plantas o el enclavamiento continuado de los suelos que puede disminuir la disponibilidad de varios de estos elementos.

Los trabajos realizados por diferentes investigadores colombianos han permitido caracterizar el estado de los elementos menores en el suelo, bajo una gran diversidad de condiciones de clima y suelos, así como también evaluar las respuestas de los cultivos a éstos nutrientes, aplicados ya sea en forma aislada o conjunta. Este capítulo tratará lo concerniente a las investigaciones más importantes, sobre elementos menores realizadas en Colombia, complementada con la información básica de los factores que afectan su aprovechabilidad de las plantas.

7.1 FORMAS Y CONCENTRACION EN LOS SUELOS.

Entre los elementos menores hay que diferenciar entre dos grupos de naturaleza y comportamiento químico completamente diferentes. Mientras que el B y el Mo son aniones, el Fe, el Cu, el Zn y el Mn reaccionan como cationes. Los primeros son absorbidos por las plantas como $H_2BO_3^-$ y MoO_4^{2-} en ellas constituyen sustancias orgánicas al igual que el N, el P y S y son objeto de mineralización y humificación en el suelo. Los elementos pesados (Cu, Zn, Mn y Fe) se presentan en la solución del suelo como cationes y en complejos quelatados, y en esta forma son absorbidos por las plantas. Generalmente constituyen enzimas y coenzimas en los tejidos vegetales, activándolos al variar su valencia por ejemplo de Fe^{++} a Fe^{+++} (18).

Según Fassbender (18) dentro de las formas de los microelementos en los suelos se pueden considerar las siguientes diferenciaciones :

1. estructural o relacionada a los minerales primarios y secundarios presentes en los suelos ;
2. precipitada en forma de óxidos ó hidróxidos, especialmente en el caso de Fe y Mn;
3. incorporada a la materia orgánica, formando quelatos;
4. adsorbidos en el complejo coloidal del suelo y
5. soluble y presente en la solución del suelo. La diferenciación se realiza por diversos métodos de análisis químicos.

El contenido de los elementos menores en la solución del suelo es bastante pequeño y muchas veces está por debajo de los límites de determinación de muchos métodos analíticos. El contenido total, presenta características muy diferentes entre los elementos entre sí.

El B presente en los suelos proviene de rocas ígneas y sedimentos marinos. Se han encontrado valores en algunas rocas ígneas ácidas hasta de 60 ppm de B y en las rocas básicas, que son más bien pobres en boro, alrededor de 10 ppm/kg. Los sedimentos marinos presentan hasta 27 ppm de B por kg. En el suelo se encuentra en cantidades pequeñas menores que el 0.01% y puede ser de naturaleza orgánica e inorgánica (18).

El contenido de Mo total de los suelos varía entre 0,3 y 5 ppm. El Mo adsorbido en algunos suelos ácidos es de gran importancia. Se ha informado que el 50% en un suelo arenoso ácido y hasta un 80% del Mo total se encuentra adsorbido en suelos arcillosos. Barros (2) en un estudio sobre determinación de Mo total en suelos y subsuelos del Altiplano de Pasto, en contró contenidos relativamente bajos en condiciones de cultivo, pradera y bosque. Las cifras promedio se presentan en la Tabla 32.

TABLA 32. Contenido de Mo total (ppm) en suelos del Altiplano de pasto bajo condiciones de cultivo, pradera y bosque (2).

Suelo en	Suelo			Sub-Suelo		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
Cultivo	0,00	1,05	2,06	0,00	0,90	2,43
Pradera	0,00	1,03	1,83	0,58	1,26	1,15
Bosque	0,09	1,04	2,44	0,00	0,82	1,76

El contenido de los elementos menores : Fe, Mn, Cu y Zn, presenta características muy diferentes según las diferentes rocas madres del suelo y los minerales que la constituyen. Dentro de los elementos mencionados el Fe presenta los mayores contenidos en los substratos mencionados. El contenido de Fe es alto en los primeros kilómetros de la corteza terrestre llegando a 3,10 y 3,72 % en sus formas di y trivalentes respectivamente. El contenido de este elemento en las diferentes rocas depende del grado de acidez de las mismas y en el caso de las rocas sedimentarias, de su origen y procesos de transformación; el contenido de Fe aumenta por ejemplo en las rocas básicas en comparación con las ácidas (18).

En los Oxisoles e Inceptisoles que son los órdenes de suelos más importantes en los Llanos Orientales de Colombia, López (33) encontró diferencias en el contenido de hierro libre por influencia del drenaje. Los porcentajes más bajos de Fe_2O_3 (menos de 3 por ciento calculado sobre arcilla)

se encontraron, en general, en los suelos de drenaje pobres, mientras que en los mismos suelos bien drenados, el contenido de hierro libre aumentó considerablemente. En los Inceptisoles, el contenido de hierro libre resultó mayor. Los valores de Fe_2O_3 mayores de 20 por ciento y 8 por ciento, calculados sobre arcilla, indicaron casi siempre la presencia de concreciones en los Inceptisoles y en los Oxisoles, respectivamente. El porcentaje de hierro libre en el suelo, generalmente, es más alto a mayor contenido de arcilla y también a mayor profundidad dentro de un mismo perfil.

El manganeso cuenta también entre los elementos más importantes dentro de la composición de las rocas madres del suelo; en las igneas presenta un contenido promedio que oscila entre 0,11 y 0,14% de acuerdo a la acidez de las rocas. Los otros elementos menores pesados presentan contenidos mucho más bajos (18).

Dulcey y Ortega (15) investigaron el estado de Mn en los suelos del Norte del Departamento del Cauca (sector Santander- Villarrica) y encontraron un contenido promedio de Mn total de 9.536 y 8.643 ppm en los suelos y subsuelos respectivamente. Por otra parte, Castro (8) reportó para suelos de clima medio del Departamento de Nariño, un contenido de Mn total de 1.100 ppm en suelos y 1.111 ppm en subsuelos. Velasco (58) en un estudio similar pero en suelos derivados, de cenizas volcánicas del Altiplano de Pasto, encontró un contenido promedio de Mn total de 69 ppm y concluyó que los suelos volcánicos del área estudiada no presentan altos contenidos de esta forma de Mn.

El contenido promedio de Cu y Zn en las rocas igneas ha sido estimado en 55 y 70 ppm, mientras que los valores respectivos para las rocas sedimentarias oscilan entre y 45 ppm para el Cu y entre 10 y 100 ppm para el Zn. De manera general las rocas igneas presentan los mayores contenidos de elementos pesados dentro de las rocas madres del suelo y esto es explicable pues a través de los procesos de su meteorización se libera una fracción de elementos pesados que se acumulan en los sedimentos que constituyen otras rocas (18).

A través de los procesos de meteorización, movilización, precipitación, lavado y fijación, en diferentes componentes del suelo, se produce una gran diferenciación en el contenido de los elementos menores en los suelos y dentro de su perfil. Barros (2) en un estudio sobre determinación de Cu y Mo en algunos suelos del Altiplano de Pasto, encontró contenidos relativamente bajos en los suelos y subsuelos, bajo condiciones de cultivo, pradera y bosque. Los datos sobre los contenidos de Cu se encuentran en la Tabla 33. Generalmente el contenido total de los elementos menores es más alto en el horizonte húmico del suelo, debido a su acumulación en los residuos vegetales.

TABLA 33. Contenido de Cu total (ppm) en suelos del Altiplano de Pasto, bajo condiciones de cultivo, pradera y bosque (Barros, 1969).

Suelo en	Suelo			Sub-Suelo		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
Cultivo	1,69	8,63	21,26	0,42	0,42	23,23
Pradera	0,64	5,99	13,35	1,73	6,73	12,54
Bosque	2,00	10,96	27,60	1,26	9,10	21,97

7.2 FACTORES QUE AFECTAN LA APROVECHABILIDAD DE LOS ELEMENTOS MENORES.

Los efectos de las condiciones de clima y suelo sobre la aprovechabilidad de los microelementos de las plantas no están aún bien claros. Sin embargo, los conocimientos actuales permiten diagnosticar las necesidades de varios nutrimentos. La utilización de más suelos calcáreos del país, conducirá a mayores aplicaciones de Fe y Zn en los cultivos. Los desórdenes de B probablemente serán mayores a medida que se exploten más intensamente los suelos tropicales.

7.2.1 El pH del Suelo.

La deficiencia de Fe en las plantas es muy común cuando crecen en suelos de reacción alcalina. Estos suelos son generalmente calcáreos. Los suelos de regiones áridas o semiáridas, son calcáreos y alcalinos en reacción puesto que son menos meteorizados y sufren poca lixiviación, pero los minerales de Fe están menos alterados y se distribuyen mas uniformemente en el perfil del suelo (14).

La mayoría de los casos de deficiencia de Mn se presentan en suelos alcalinos, especialmente ricos en materia orgánica. Los suelos sometidos regularmente a etapas de oxidación y reducción o bien los suelos ácidos fuertemente intemperizados son pobres en Mn potencialmente asimilable debido a pérdida por lixiviación. Si éstos suelos se encalan a pH 6 tarde o temprano aparecen deficiencias de Mn (50). Este problema es muy importante en muchos suelos tropicales, como es el caso de los Llanos Orientales de Colombia. Lo anterior, indica, que la adición de cal a los suelos puede disminuir el Mn intercambiable como lo muestran los datos presentados en la Tabla 34.

Algunos investigadores han demostrado que la acidez del suelo tiene influencia en la aprovechabilidad del Cu por las plantas (4, 26, 45). La aprovechabilidad del Cu disminuye al aumentar el pH del suelo tal como fue demostrado por Peech (45) en suelos arenosos de la Florida, Estados Unidos. En los suelos en los cuales la cantidad de Cu excede a la capacidad de adsorción, y en donde las condiciones son ácidas y oxidadas, puede existir abundancia de Cu en la solución del suelo. El Cu tiene una constante de hidrólisis de $10^{-7.6}$ por lo que a pH mayor de 7,0 la forma más abundante de Cu es la forma CuOH . La disponibilidad del Cu depende del pH del suelo y no se incrementa apreciablemente, mientras el pH esté por debajo de 5,0. Se obtienen respuestas marcadas a Cu, cuando el pH es mayor de 7,0 o menor de 4,5. El Cu se precipita en mayor cantidad a pH alto por las mayor concentración de iones $\text{CO}_3^{=}$ y OH^- . Cuando el pH aumenta las formas iónicas de Cu cambian a óxidos e hidróxidos que son insolubles (46).

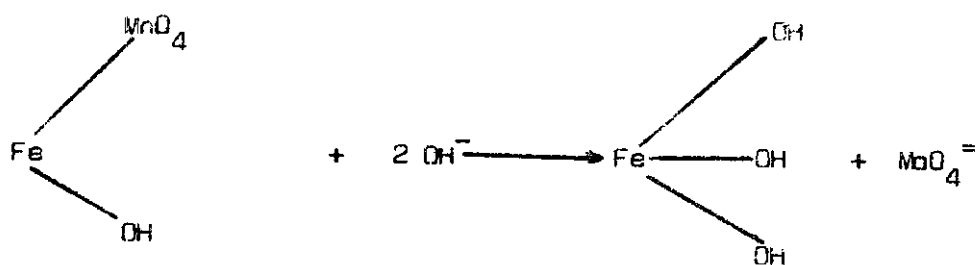
TABLA 34. Efecto de la cal, sobre el contenido de Mn^{++} intercambiable en dos suelos ácidos después de tres semanas de incubación (50).

Suelo	Mn agregado ppm	Mn (ppm) sin cal	Mn (ppm) intercambiable con cal
F. limoso	0	1,5	0,4
4.8% M.O	27	7,2	3,0
pH 5,3	54	12,6	7,7
	135	20,7	13,5
F arenoso	0	1,2	0,5
1.1% M.O.	27	6,7	2,6
pH 5,2	54	14,3	4,4
	135	55,6	19,5

Numerosos investigadores han demostrado que el Zn es más aprovechable en suelos ácidos. Sin embargo, las deficiencias de Zn no ocurren siempre en todos los suelos alcalinos. Wear (60) añadió $CaCO_3$, $CaSO_4$ y $NaCO_3$ a un suelo franco-arenoso, para medir el efecto de los cambios del pH y del ión Ca^{++} sobre la absorción del Zn por plantas de sorgo en condiciones de invernadero. Los resultados mostraron evidencia de que la reducción en la absorción del Zn era debido a un efecto del pH y no a un efecto del ión Ca^{++} .

Uno de los factores más importantes que afectan la aprovechabilidad del boro por las plantas, es el pH. Berger y Truog (4) hallaron una correlación negativa, altamente significativa entre el pH del suelo y el boro aprovechable en suelos alcalinos. La correlación fue positiva cuando el pH varió desde 4,5 hasta 7,0.

En los suelos extremadamente ácidos el Mo está presente en el suelo en una forma no disponible para las plantas. Se torna disponible cuando se aplica cal hasta la neutralidad. La asimilabilidad aumenta significativamente a medida que el pH llega a 8,0; por encima de este valor la asimilabilidad disminuye (28). La reacción que explica el aumento en la aprovechabilidad del Mo al elevar el pH es la siguiente :



En esta forma el encalamiento de los suelos ácidos a menudo corrige las deficiencias de Mo.

7.2.2 Efecto de la Materia Orgánica.

La materia orgánica tienen influencia en la aprovechabilidad de los elementos menores Fe, Cu, Mn, Zn, B, ya sea como fuente de ellos, o por un efecto indirecto a través de los mecanismos de intercambio iónico.

El Fe aprovechable para las plantas, se altera enormemente con el contenido de materia orgánica del suelo. Ordinariamente el contenido de Fe soluble en el suelo, se aumenta al aumentarse la materia orgánica, con excepción en los suelos alcalinos. La disolución de los carbonatos y bicarbonatos del suelo por descomposición de la materia orgánica en suelos ácidos, promueven la reducción y solubilidad del Fe.

En suelos alcalinos la descomposición de la materia orgánica intensifica, muy a menudo, la clorosis en árboles frutales provocada por defi-

ciencias de este microelemento (14).

Como regla general, la retención de Cu en los suelos aumenta a medida que aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo. Se sabe que el Cu forma compuestos más estables con sustancias húmicas que cualquiera otro metal (28). El humus, especialmente turba ácida, fija Cu y lo hace insoluble para las plantas. Así el Cu existe, parte en estado intercambiable y parte fijado a la materia orgánica no disponible para las plantas. Informes de varios investigadores revelan que los complejos "Humus-Cobre" varían en su grado de estabilidad. En algunos casos el Cu es retenido tan fuertemente que no es aprovechable para la mayoría de las plantas. Los grupos sulfídricos son muy importantes en la formación de complejos entre la materia orgánica y el Cu, especialmente en suelos de Turba. También son importantes grupos funcionales fenólicos y carboxílicos unidos a compuestos heterocíclicos. El CuOH se une con grupos carboxílicos y el Cu⁺⁺ con grupos fenólicos.

Se ha demostrado que, en suelos con alto contenido de materia orgánica las cosechas, particularmente de leguminosas y cereales, presentan diferentes grados de deficiencia de Mn, incluso en suelos con pH bajo. Este fenómeno es debido probablemente a que el Mn divalente, forma con la materia orgánica complejos insolubles, estado en el cual no es aprovechable para las plantas. La adición de turba a un suelo ácido (pH 4,5) aumentó el contenido de Mn intercambiable después de tres semanas de incubación (Tabla 35). Los incrementos fueron mayores cuando el Mn se determinó en muestras de suelo húmedas en comparación con muestras de suelos secados al aire. Estos resultados, permitirían concluir que, cuando se añade Mn a un suelo con alto contenido de materia orgánica, la mayor parte del Mn puede transformarse a la forma intercambiable.

La deficiencia de Zn se ha observado en suelos con alto contenido de materia orgánica, especialmente como consecuencia de tratamientos con abono de establo. En algunos casos, la esterilización de los suelos deficientes en Zn ha corregido la deficiencia. Esto parece indicar que los

microorganismos del suelo puede inmovilizar al Zn.

TABLA 35. Efectos de la turba sobre el contenido de manganeso intercambiable e un suelo arenoso-franco, no encalado después de tres semanas de incubación (Sánchez y Kamprath, 1959).

Tratamientos		Mn	Mn
Mn en ppm + % Turba		Suelo húmedo	intercambiable (ppm) suelo seco al aire
54	0	5,8	11,1
54	2	31,5	10,2
54	4	32,2	10,1
54	10	35,3	10,1

La mayor parte del boro en los suelos de las regiones húmedas es retenido por la materia orgánica, pero es liberado por su descomposición causada por microorganismos del suelo. La deficiencia de B en muchas cosechas se acentúa en las épocas de sequía y este fenómeno se ha relacionado con una disminución en la tasa de descomposición de la materia orgánica o probablemente por un mecanismo de fijación a causa del humedecimiento y secamiento alternos de la arcilla del suelo (4).

7.2.3 La Textura del Suelo.

La textura del suelo afecta la aprovechabilidad de los elementos menores del suelo en la medida que el contenido y el tipo de arcilla de los suelos afecta los procesos de adsorción de aniones y cationes.

Se ha sostenido que la clorosis de hierro, en cítricos cultivados en los suelos arenosos puede ser causada por una acumulación de metales pesados aplicados al suelo y a las plantas, con los fertilizantes (14).

Actualmente esos suelos pueden contener hasta 700 kilogramos por hectárea de cobre y de magnesio. En condiciones naturales, los mismos suelos solamente contienen de 5 a 10 kilogramos de Cu por hectárea y de 30 a 40 kilogramos de Mn. Sin embargo, no se puede dar una norma general acerca de la concentración en la cual los metales pesados (Cu, Zn, Mn, Co) producen dicha clorosis. Algunas plantas son más tolerantes que otras.

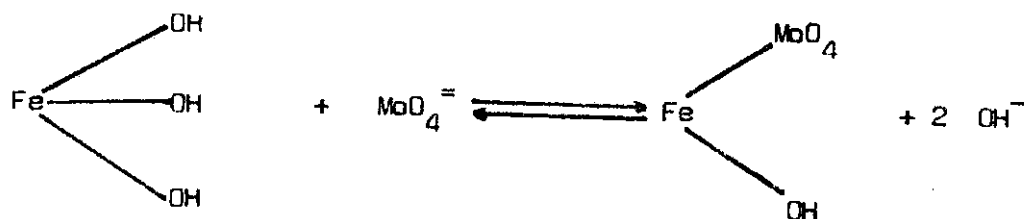
En las mezclas, materia orgánica-arcilla, la materia orgánica adsorbe Cu hasta saturar su capacidad de intercambio catiónico. Después de que esto ocurre, la fracción arcilla retendrá Cu, pero la asociación Cu-arcilla es más susceptible a la hidrólisis, que el complejo Cu-Materia Orgánica. Esto quiere decir, que el Cu retenido por la fracción arcilla del suelo es más aprovechable para las plantas que el Cu retenido por la materia orgánica. También es preciso anotar, que suelos con similar contenido de materia orgánica, pueden diferir en su habilidad para formar complejos con el ión Cu^{++} . El orden de retención del Cu por las arcillas es caolinita > illita > montmorillonita > vermiculita (28).

Numerosos estudios han demostrado que el Zn es adsorbido por varios minerales de arcilla. Los estudios llevados a cabo por Elgabaly (16) indicaron que la retención del Zn por las arcillas tiene la siguiente intensidad en relación con otros cationes : $\text{H}^+ > \text{Zn}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ y que la extracción del Zn puede hacerse fácilmente con acetato de amonio en suelos saturados con H, pero es más difícil cuando están saturados con Ca. Por otra parte, concluyó que mientras mayor sea el tiempo de contacto entre el Zn y la arcilla saturada con Ca, menor será la cantidad de Zn removida con acetato de amonio.

En las regiones húmedas los suelos de textura gruesa contienen menos B aprovechable que los suelos de textura fina, El movimiento de B en los suelos está relacionado principalmente con la textura del suelo (31). Esta condición parece estar asociada con la fijación del B por la arcilla. En efecto, Sims y Bingham (52) determinaron la retención de B por las arcillas silicatadas y encontraron que la vermiculita, la caolinita, la montmorillo-

nita y la biotita hidratadas, exhibieron afinidad en la retención de B, pero dependiente del pH con una adsorción máxima de B en los límites de la alcalinidad. Sin embargo, la retención de B por esas arcillas se atribuyó principalmente, a hidróxidos de hierro y aluminio que contenían como impurezas.

El Mo es fijado por hidróxidos de Fe y Al como se indica a continuación (48):



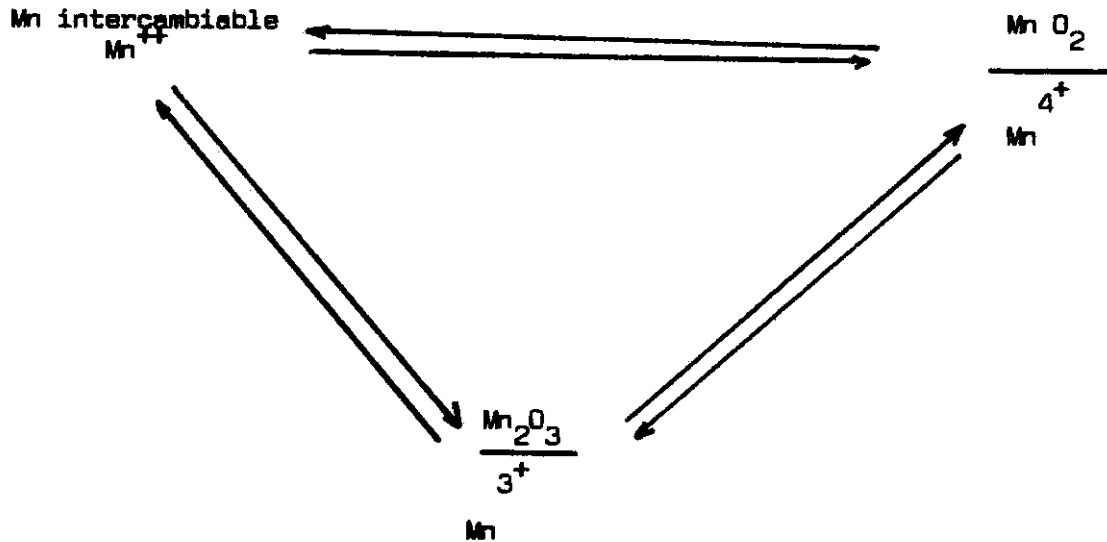
Para la adsorción del Mo se ha encontrado el siguiente orden de selectividad por las arcillas: hidróxido de Fe \succ Hidróxidos de Al \succ Haloisita Nontronita \succ Caolinita (12).

7.2.4 La Humedad del Suelo.

La humedad del suelo tiene una influencia mayor en los elementos Fe y Mn ya que estos elementos en su forma reducida son más aprovechables para las plantas (46). Esta condición se obtiene generalmente en los suelos con muy poca aireación y puede ser el caso de los suelos inundados.

Generalmente se considera que el manganeso en el suelo existe en tres estados de acuerdo al número de su valencia química (21). Estos estados son: 1. Manganeso divalente (Mn^{++}); el cual está presente como un catión adsorbido por la fracción coloidal del suelo o puede estar también en la solución del suelo. 2. Manganeso trivalente (Mn^{+++}) el cual supone que existe en la forma de óxido altamente reactivo, Mn_2O_3 . 3. Manganeso tetravalente (Mn^{++++}) el cual existe como óxido muy inerte (MnO_2). Estos tres estados de manganeso

en los suelos existen en equilibrio dinámico, tal como se represente esquemáticamente en la siguiente forma :



El Mn^{2+} divalente se encuentra primordialmente en suelos ácidos. El Mn^{3+} trivalente en suelos con pH neutros y el Mn^{4+} tetravalente a pH mayor de 8.0. De acuerdo con el esquema propuesto, el manganeso intercambiable está en equilibrio con las formas tri y tetravalentes las cuales son favorecidas por un pH alto y condiciones de oxidación. El MnO_2 altamente estable es la forma que más comúnmente ocurre en suelos con un pH mayor de 8 (21).

El mecanismo por el cual la humedad del suelo ejerce influencia sobre la aprovechabilidad del manganeso por las plantas, no se han podido establecer claramente. Sin embargo, se sabe que el manganeso es más aprovechable para las plantas en su estado reducido (Mn^{2+}) que es la forma más abundante bajo condiciones húmedas.

7.3 INTERACCIONES DE LOS ELEMENTOS MENORES.

La adecuada nutrición de las plantas con micronutrientes depende, además de la habilidad del suelo para suministrar estos elementos, de otros

factores tales como: la tasa de absorción del nutrimento, la distribución del nutrimento en los sitios funcionales y la movilidad dentro de la planta. Estos factores son afectados por las interacciones que ocurren entre los nutrimentos en el suelo y en la misma planta.

Las interacciones ocurren entre los microelementos entre sí y también con algunos macroelementos. Puesto que esas interacciones modifican la nutrición de las plantas, deben considerarse al menos en parte en este curso. Una razón importante para estudiar y evaluar las interacciones de los microelementos es la de mejorar las prácticas agronómicas que pueden ejercer un control sobre la absorción de estos elementos por las plantas.

La interacción puede definirse como: "una influencia o una acción neutra o recíproca de un elemento sobre otro, en relación al crecimiento de las plantas", o también como: "la respuesta diferencial de un elemento en combinación con varios niveles de un segundo elemento aplicado simultáneamente", es decir, que los dos elementos se combinan para producir un efecto adicional positivo o negativo que no es debido a ninguno de ellos aisladamente" (42). Por ejemplo, una respuesta en rendimiento puede medirse por el P o el Zn aplicado, pero la suma de esas respuestas individuales puede ser significativamente menor a la respuesta cuando ambos elementos se aplican simultáneamente.

7.3.1 Interacciones de Micronutrimentos con Macronutrimentos.

Zinc x Fósforo.

La interacción Zn x P ha sido estudiada desde hace muchos años. Generalmente, la interacción se designa como "deficiencia de Zn inducida por P" (42). Este desorden en el crecimiento de las plantas, está asociado comúnmente con niveles altos de P aprovechable en el suelo o con la aplicación frecuente de fertilizantes fosfóricos. La causa y los mecanismos de este efecto no son bien conocidos, pero en general las investigaciones se han orientado hacia las siguientes causas: 1. Interacción P x Zn en el suelo.

2. Una tasa más baja de translocación del Zn desde las raíces hasta la parte aérea de la planta. 3. Un simple efecto de dilución sobre la concentración del Zn en la parte aérea de la planta, debido a un mayor desarrollo por respuesta al P y 4. Un desorden metabólico dentro de las células, de la planta relacionado con un desbalance entre P y Zn (55, 59). En relación con la interacción en el suelo se atribuye a la formación de un fosfato de zinc insoluble ($Zn_3(PO_4)_2$) que reduce la concentración de Zn en la solución del suelo a niveles de deficiencia (51).

Molibdeno x Azufre.

La absorción de Mo por las plantas se reduce por el S como se ilustra en los datos presentados en la Tabla 36. Stout y otros investigadores (54) explicaron el efecto del S como una competencia directa entre dos aniones divalentes de igual tamaño. Las prácticas de fertilización pueden requerir la aplicación simultánea de S y Mo a los suelos.

TABLA 36. Disminución de la absorción de Mo en plantas de tomate y arveja por aplicaciones de $CaSO_4$ al suelo (54).

CaSO ₄ añadido al suelo (ppm)	Concentración de Mo (ppm) *	
	Tomate	Arveja
0	5,25	12,80
100	3,52	8,05
400	2,45	5,70

* El suelo recibió 0.75 ppm de Mo como Na_2MoO_4 .

Boro x Calcio.

Las plantas crecen normalmente solamente cuando existe cierto balance en la absorción de Ca y B. Jones y Scarseth (29) encontraron que el balance ideal, entre Ca y B, era de 1.200 para tabaco, 500 para soya y 100 para remolacha azucarera. Esta relación se expresa en los pesos equivalentes para los

dos elementos. Estos autores también observaron que el B puede aplicarse en cantidades más altas en los suelos alcalinos o encañados sin que cause ningún daño o efecto tóxico en comparación cuando se aplican a suelos ácidos.

En el Perú Fox (20) reportó que la alfalfa y el algodón que habían crecido en suelos que contenían de 25 a 60 ppm de B soluble en agua caliente, no exhibieron síntomas de toxicidad. Fox, atribuyó la tolerancia del algodón a las altas concentraciones de B, el efecto combinado del pH alto y de una concentración alta de Ca en las raíces. Este efecto combinado redujo hasta un 50% el contenido de B en las plantas.

7.3.2 Interacciones entre Elementos Menores.

Zinc x Hierro.

El funcionamiento metabólico del Fe en las plantas está conectado de alguna manera con el suministro de Zn. Warnock (59) midió la relación existente entre plantas de maíz deficientes en Zn con las concentraciones de Fe en la planta. Las concentraciones de Fe fueron más altas en las hojas y tallos de plantas de maíz deficientes en Zn, que aquellas plantas sin deficiencias. La movilidad relativa del Fe estuvo inversamente relacionada a la movilidad del Zn.

Hierro x Manganeseo.

La clorosis de las plantas debida a una deficiencia de Fe se puede presentar en suelos ácidos que contienen cantidades altas de Mn aprovechable. Epstein y Stout (17) sugirieron que el Mn interfirió con el transporte de Fe de las raíces a los brotes o sitios de crecimiento, pero la absorción de Fe se aumentó incrementando la concentración del Mn en las suspensiones de arcilla.

Cobre x Hierro.

Altas concentraciones de Cu y Zn en una solución nutritiva producen

clorosis de Fe en cítricos. Spencer (53) demostró que con altos niveles de Cu aplicados al suelo se redujo el contenido de Fe en las hojas de los cítricos. Así mismo, el crecimiento de la lechuga, a cualquier nivel de Cu se afectó por el suministro de Fe (42). Los efectos tóxicos del Cu a altos niveles se disminuyeron mediante las adiciones de Fe. Se ha sugerido que la interacción de nutrimentos que envuelven al Fe y al Cu explican la ocurrencia frecuente de la deficiencia de Cu en suelos con altos contenidos de materia orgánica. Las aplicaciones conjuntas de Cu y Fe causaron incrementos en la producción de avena pero las aplicaciones individuales, de estos elementos, no fueron positivas.

Cobre x Zinc.

La deficiencia de Zn en la alfalfa y en el trébol subterráneo puede disminuir la concentración de Zn en las plantas y aumentar apreciablemente la concentración de Cu (42). En las áreas deficientes en Cu y Zn debe tenerse mucho cuidado con las cantidades de Zn que se aplican, especialmente en los suelos arenosos. Si se aplican más de las cantidades recomendadas el Zn puede provocarse deficiencias de Cu.

7.4 REQUERIMIENTOS DE ELEMENTOS MENORES POR LAS PLANTAS.

7.4.1 Diferencias entre Especies y Variedades.

Generalmente los requerimientos entre las diversas especies muestran límites más amplios de respuesta a los micronutrimentos aplicados que las variedades de una misma especie de planta (5). También es importante tener en cuenta que hay algunas especies de plantas con mayores requerimientos de un determinado micronutriente. Así tenemos, por ejemplo respuestas marcadas obtenidas con las aplicaciones de Mo en coliflor en suelos ácidos de la Sabana de Bogotá (27, 35); respuesta del arroz al Zn en suelos del Valle del Cauca (19) y respuesta de alfalfa a las aplicaciones de B, también en suelos del Valle del Cauca (9,10). Aunque muchas otras plantas anuales se han cultivado en esos suelos, los elementos citados no han sido

un factor limitante en la producción de cosechas.

Sin embargo, un número considerable de desórdenes nutricionales en las plantas debida a elementos menores, han sido el resultado de la obtención o introducción de nuevas variedades o híbridos. Es muy frecuente el cultivo de nuevas variedades de plantas en un medio muy diferente, a aquel en donde fueron obtenidos. Un caso típico lo puede representar la investigación realizada por Crowder y colaboradores (9) en el Centro Experimental Palmira, lo cual muestra que algunas variedades de alfalfa fueron mas tolerantes, a bajos niveles de boro en el suelo, como se muestra en la Tabla 37. Al analizar la historia de las variedades probadas, se encontró que los más resistentes provenían de áreas con suelos deficientes en boro. Sin saberlo, el fitomejorador había seleccionado las líneas más adaptadas para este tipo de adersidad.

TABLA 37. Respuestas de variedades de alfalfa (Medicago sativa, L) a la aplicación de B en el Valle del Cauca (9).

Variedades de alfalfa	Rendimiento de heno (kg/Ha) ^{1/}	
	Sin B	Con B ^{2/}
Rhizoma	1.350	1.990
Africana	520	2.220
Chilena	770	2.480
Peruana	720	2.250
India	560	2.050

1/ Promedio de 4 cortes

2/ Se aplicó Borax a razón de 30 kg/Ha.

El CIAT ha realizado varias investigaciones tendientes a conocer la respuesta diferencial de variedades de plantas a la aplicación de los elementos menores Zn y B. Los campos experimentales del CIAT en Palmira (Valle del Cauca) se encuentran localizados en una área posiblemente afectada por

problemas de alcalinidad y/o salinidad. Sin embargo, algunos trabajos realizados por Flor y colaboradores (19) han indicado que con la aplicación de algunos microelementos especialmente Zn y B se consiguen respuestas muy importantes en cultivos como arroz (Oriza sativa L.) y frijol (Phaseolus vulgaris, L.)

En el caso del arroz la producción de este cereal, bajo condiciones de riego resultaba en un complejo fracaso. Las plantas morían unos 25 días después de sembradas, pero el problema se identificó como una deficiencia de Zn. Se encontraron respuestas a dosis crecientes de zinc, aún a dosis muy elevadas (120 kg/Ha), pero la aplicación de 8 kg de Zn/Ha fue suficiente para corregir las deficiencias muy severas. La aplicación de Zn en el momento de la siembra parece ser la época más apropiada para la corrección del problema. El óxido de Zinc adherido a la semilla del arroz, fue una alternativa excelente para aplicar el Zinc. Las variedades Colombia 1 e ICA-10 no fueron afectadas por la deficiencia. Las variedades Blue Belle, Star Bonnet y Blue Bonnet 50, murieron a los 25 días. Las variedades IR-8, CICA-4, IR-22 ocuparon una posición intermedia.

De igual manera que el Zn para el arroz, la deficiencia de B en frijol era poco conocida. Determinado el problema de deficiencia de B en frijol el CIAT realizó experimentos sobre dosis, fuentes, épocas, métodos de aplicación, fertilización foliar, determinación de efectos residuales, niveles críticos en el suelo y en el tejido vegetal y la sensibilidad de algunas variedades a la deficiencia. El borax al nivel de 1 kg B/Ha aplicado en banda lateral y al momento de la siembra resultó ser la mejor fuente. En general, se concluyó que los frijoles negros se afectan más por la deficiencia de B y responden más a la aplicación de este elemento que los frijoles rojos. Cuando se siembra maíz (Zea mays L.) en suelos del CIAT deficientes en B se producen mazorcas estériles o vacías, como la que se muestra en la figura 21.

Por otra parte Higueta y Lora (27) encontraron diferencias varietales muy significativas de la coliflor a la aplicación de Mo en un suelo



Figura 21. Mazorcas vacías de maíz cultivado en suelos deficientes en B (foto CIAT-Palmira).

franco-arcilloso de la serie "Tibaitatá" (Sabana de Bogotá). Los resultados se condensan en la Tabla 38.

TABLA 38. Respuesta de la coliflor a la aplicación de molibdeno, en un suelo franco-arcilloso de la serie Tibaitatá (27). ^{1/}

Variedad	Molibdato de sodio añadido al suelo (ppm)			
	0	0,4	0,8	1,2
Bola de nieve temprana	18,4	34,1	27,0	25,8
Gigante de Otoño	41,2	50,5	46,2	42,9
Noviembre-Diciembre	50,5	37,2	57,4	64,1

^{1/} Rendimiento en toneladas por hectárea.

7.4.2 Problemas de Elementos Menores en Suelos de Colombia.

Hierro.

En Colombia se han reportado deficiencias de Fe en maíz, en la Granja "Caribia", en el Departamento del Magdalena (7), en plantas de cacao en el Valle del Cauca y en frijol en la Granja "Surbatá" en el Departamento de Boyacá.

Entre los desórdenes causados por la toxicidad de Fe, se cita el llamado "anaranjamiento del arroz" que se ha presentado en algunos cultivos de los Llanos Orientales de Colombia (40). Actualmente se admite que la toxicidad del Fe es uno de los factores limitantes del rendimiento del arroz en los Oxisoles y Ultisoles altamente ácidos en los trópicos (46).

- MANGANESO.

En Colombia se han observado deficiencias de manganeso en frijol

cultivado en suelos de la Granja "Surbatá" en el Departamento de Boyacá. Mediante estudios de invernadero, también se han encontrado respuestas de algunas plantas a la aplicación de manganeso en suelo de la serie "Techo" en la Sabana de Bogotá (22).

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 Mn en la capa arable está dentro de los límites normales, pero 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. Ortega (44) concluyó que los Inceptisoles del Centro Tibaitatá tienen buenas reservas de Mn y que su disponibilidad depende del manejo del suelo y del cultivo.

Investigaciones realizadas por el Programa de Suelos del ICA, han mostrado deficiencias de Mn en las series Bermeo y Tibaitatá principalmente con respuestas altamente significativas en los cultivos de frijol (Phaseolus vulgaris L.) y avena forrajera (Avena sativa L.) y aumentos hasta de 5/Ha en papa (Solanum tuberosum L.). Bajo condiciones de invernadero ha habido respuestas de este nutrimento en la serie Tibaitatá y en algunos suelos de Boyacá, cuyo pH es igual o mayor de 6 (36).

Por su parte López (34) reportó valores muy bajos de Mn intercambiable, en suelos derivados de cenizas volcánicas y observó que al haber aplicaciones de Cal se provocan síntomas visuales de este nutrimento en plantaciones de café.

- Cobre.

En Colombia no se ha estudiado supereficientemente la necesidad de aplicar a los suelos fertilizantes que contengan Cu para incrementar el rendimiento de los cultivos. Algunos investigadores han reportado respuestas someras a Cu en suelos de Boyacá y la Sabana de Bogotá (Serie Techo) y respuestas de algodónero a Cu en algunas zonas del Tolima.

En los trabajos adelantados por el Programa de Hortalizas y Frutales del Instituto Colombiano Agropecuario en la Granja Experimental "Obonuco" (Pasto), se ha encontrado respuestas a las aplicaciones de Cu, en repollo, coliflor, ajo y haba (36).

Brugés (6) en un estudio sobre la evaluación general de los micronutrientes de los suelos de la Estación Experimental "Caribia" en el Departamento del Magdalena, bajo condiciones de invernadero y campo utilizando pasto manawa (invernadero) y maíz (campo) encontró que la aplicación de 25 kg/Ha de CuSO_4 no tuvo efectos significativos en el aumento de la producción de peso fresco de maíz, mientras que con pasto manawa sí hubo diferencia significativa.

- Zinc.

La deficiencia de Zn es muy común en suelos de Colombia, pues se han reportado respuestas a este elemento por varios cultivos de importancia económica. En trabajos adelantados por el Programa de Hortalizas y frutales en la Granja Experimental "Obonuco" del Instituto Colombiano Agropecuario se han encontrado respuestas a las aplicaciones de Zn en repollo, coliflor ajo y haba (36).

En el sur del Tolima, el tratamiento a la semilla de arroz ha dado buenos resultados, para corregir deficiencias de Zn. En cítricos sembrados en el Valle del Cauca, Pacho (Cundinamarca), Llanos Orientales (encalados), y otras zonas del país, se han observado deficiencias severas de Zn. Por otra parte, en suelos de la serie Tibaitatá ha habido respuesta a la aplicación de Zn en cultivos de papa, trigo, y haba. Igualmente al aplicar dosis altas de P en maíz, se vió la necesidad de aplicar paralelamente Zn (36).

Deficiencias de Zinc en banano como las descritas por Jordine (30) fueron observadas por Cardeñoza (7) en la zona Bananera del Departamento del Magdalena. Cardeñoza reportó que la "Rayadilla del Plátano", descrita en plantaciones del Departamento del Valle del Cauca era causado por una defi-

ciencia de Zn, pues aplicaciones de sulfato de Zinc al 2 por ciento corrigieron la clorosis típica. En las mismas zonas en que ocurre la "rayadilla" se observaron síntomas que corresponden, en general, a las carencias de Zn descritas para cacao (Theobroma cacao) cafeto (Coffe arabiga) y naranjo (Citrus cinensis).

Ya se mencionó que en el Valle del Cauca en 1971, en los campos de arroz del CIAT, se detectaron deficiencias de Zn. Los trabajos preliminares para resolver el problema mostraron respuesta a cantidades tan elevadas como 120 kg/Ha de Zn, incorporado al suelo antes del transplante. Trabajos posteriores demostraron que la aplicación de 10 kg/Ha de Zn, inmediatamente antes de la siembra, corrige el problema en la variedad de arroz CICA-4. En el Tolima Sur, la aplicación de 16 kg de Zn por 100 kg de semilla de arroz, ha producido aumentos hasta de 500 kg/Ha. Por su parte, Brugés (6) en un suelo de la Estación Experimental "Caribia" del Departamento del Magdalena, bajo condiciones de invernadero encontró respuesta del pasto Manawa a la aplicación de 10 kg/Ha de sulfato de zinc ($ZnSO_4$).

Numerosas cosechas sufren por deficiencia de boro en los suelos. La alfalfa y algunos frutales son las plantas más comúnmente afectadas. Síntomas de deficiencia de boro en cafeto, se han manifestado en plantaciones de la zona cafetera de Colombia (Valencia, 56) en diferentes series de suelos y aparentemente en plantaciones altamente fertilizadas con potasio.

En suelos del Departamento de Boyacá (Clima frío) en los Llanos Orientales y del Valle del Cauca se han encontrado respuestas a boro. En los trabajos adelantados por el Programa de Hortalizas y frutales en la Granja Experimental "Obonuco", del Instituto Colombiano Agropecuario, se han encontrado respuestas a B en repollo, coliflor, ajo y haba (36). En el Valle del Cauca, Flor y colaboradores (19) reportan deficiencias de B en frijol.

En suelos de la zona cafetera de Colombia, derivados de cenizas volcánicas, López (34) consideró que se pueden presentar deficiencias tempora-

les de B en épocas de escasa lluvia, siendo más acentuadas en áreas con poco contenido de materia orgánica. Suelos de menos de 0,5 ppm de B han respondido a las aplicaciones de Borax.

En los suelos de la Sabana de Bogotá, Merín y colaboradores (38) al estudiar la fertilización de la alfalfa, concluyeron que el B y los otros elementos menores parecían ser los factores menos limitantes para el crecimiento de la alfalfa en la mayoría de los suelos estudiados. Sin embargo, después de varias cosechas encontraron respuesta significativa a la aplicación de borax, en algunos de los suelos estudiados.

En el Valle del Cauca, Crowder, Michielin y Baird (9) encontraron que la respuesta de la alfalfa a la aplicación de Borax fue altamente significativa. Estas deficiencias de B, tal como fue postulado por Garavito (24) puede estar asociada con: a) bajo contenido de B total en el suelo, b) altos contenidos de carbonatos de calcio; c) pH alto; d) Bajo contenido de carbono orgánico; e) ausencia de turmalina u otro mineral que aporte B y f) Alta capacidad de fijación de B del suelo.

- Molibdeno.

El molibdeno es absorbido por las plantas en la forma iónica MnO_4^- . Se requiere en cantidades muy pequeñas, un punto de considerable importancia ya que un exceso puede causar toxicidad en animales que pastorean en suelos tratados con este micronutriente. Las deficiencias de Mo han sido reportadas en muchas hortalizas y leguminosas, Rodríguez y McClung (49) reportaron deficiencias de Mo en los suelos rojos de Antioquia, utilizando lechuga romana como planta indicadora bajo condiciones de invernadero. Atribuyeron esta deficiencia a la reacción ácida de los suelos y a que probablemente son formados a partir de un material parental rico en mineral serpentina.

Daza (13) encontró que la aplicación de molibdeno tuvo una tendencia a aumentar los rendimientos de materia seca y el contenido de proteína en



Figura 22. Deficiencia de molibdeno en coliflor (Brassica oleracea L.) cultivada en un Inceptisol de la Sabana de Bogotá (Foto Programas de Suelos y Hortalizas).

alfalfa que se cultivó en un suelo extremadamente ácido (pH 4,7) de la serie arcillosa San Rafael del Municipio de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca.

En los trabajos adelantados por el Programa de Hortalizas en la Granja Experimental "Obonuco" del Instituto Colombiano Agropecuario, localizada en suelos derivados de cenizas volcánicas en el Departamento de Nariño se ha encontrado respuestas a las aplicaciones de Mo en repollo, coliflor, ajo y haba (36).

En suelos de la Sabana de Bogotá, serie Tibaitatá, ha habido respuesta a Mo en coliflor (Brassica oleracea) aplicado en forma localizada junto con el fertilizante complejo o por tratamiento a la semilla (27, 35, 39).

7.5 RESUMEN

El capítulo trata lo concerniente a las investigaciones más importantes, que sobre elementos menores se han realizado en Colombia, complementado con la información básica existente en otros países sobre las formas, su concentración en los suelos y los factores que afectan la aprovechabilidad de estos nutrimentos por las plantas. Se discuten ampliamente dentro de estos factores, los siguientes : a) el pH del suelo; b) la materia orgánica; c) la textura y d) la humedad del suelo. Se citan las principales interacciones entre elementos menores y de éstos con algunos macroelementos. Finalmente se hace una revisión de los requerimientos de elementos menores por cultivos haciendo distinción entre especies y variedades con referencia a los principales problemas nutricionales encontrados en Colombia.

7.6 PREGUNTAS.

1. Cual será la ocurrencia de elementos menores en una roca con alto contenido de granito, andesita y magnesita ?

2. Un suelo localizado en una zona sub-húmeda a árida es derivado de pizarras. Qué problemas habría en relación con algunos micronutrientes ?
3. De los elementos menores esenciales para el crecimiento de las plantas, cuales reaccionan como aniones ? Cuales como cationes?
4. En qué formas existe el Mn en el suelo? Que relación tienen con el pH y cual forma es fácilmente aprovechable por las plantas ?
5. Enuncie los factores del suelo que más afectan la aprovechabilidad de los elementos menores por las plantas .
6. Como se diferencia el Mo de los otros elementos en relación con el pH del suelo? Exprese la reacción por medio de la cual se aumenta la aprovechabilidad del Mo al elevar el pH del suelo.
7. Explique brevemente porqué el requerimiento de algunos micronutrientes es más alto en suelos orgánicos que en suelos con bajo contenido de materia orgánica.
8. Como afectan la materia orgánica y el pH del suelo la aprovechabilidad del Cu por las plantas ?
9. Discuta brevemente como afecta la textura del suelo la disponibilidad de los elementos menores. Qué condiciones del suelo contribuyen a la pérdida de B por lixiviación ?
10. Cuales son las formas principales como los microorganismos del suelo afectan la aprovechabilidad de los elementos menores ?
11. Muchos cultivos que crecen en suelos con relativamente alta cantidad total de Fe y Mn exhiben deficiencias de estos elementos Como explica usted la aparición de estas deficiencias ?. Bajo qué condiciones del suelo se ha observado toxicidad de Mn ?

12. Usted necesita corregir deficiencias de Fe en un cultivo de cítricos plantado en un suelo con carbonato de calcio libre. Explique la metodología que seguiría. Qué razones se han sugerido para explicar la clorosis producida por el Fe ?
13. Qué explicación daría usted a la alta respuesta al Mo en algunos suelos de la Sabana de Bogotá ? Como se podrían corregir esas deficiencias ?
14. Discuta brevemente como afecta la humedad del suelo la aprovechabilidad del Mn y Fe por las plantas.
15. Qué son quelatos ? Cuales de los micronutrientes se aplican frecuentemente como quelatos ? Que son las "frits"? Cómo es su aprovechabilidad influenciada por el tamaño de las partículas ?
16. Defina el término "interacción de nutrientes". Cuales son las interacciones más características entre microelementos y de microelementos con macroelementos ?
17. Cuales son los principales problemas de elementos menores en suelos derivados de cenizas volcánicas ?
18. Cuales son los principales problemas de elementos menores en suelos de las regiones tropicales de Colombia ?
19. Los suelos de altillanura de los Llanos Orientales de Colombia necesitan aplicaciones altas de Cal y P. Qué micronutrientes de las plantas deberían tenerse en consideración? Porqué ?
20. En general en Colombia, se ha encontrado respuesta a las aplicaciones de S en distintas zonas y cultivos. Discuta brevemente cuales serán las causas.

BIBLIOGRAFIA

1. ARAGON, V. et al. 1971. Estudio del efecto de las aplicaciones de B, Mo y cal sobre la coliflor en dos suelos volcánicos del Altiplano de Pasto. Revista Ciencias Agrícolas (Colombia) 3(1):39-54.
2. BARROS, P. 1969. Determinación de Mo, Cu y Co en algunos suelos del Altiplano de Pasto. In: Resúmenes de Investigaciones en Suelos. II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. pp.76-77.
3. BENAVIDES, S.T. 1959. Estado del manganeso en los suelos de la Sabana de Bogotá, Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" IT-1.
4. BERGER, K.C. and E. TRUOG. 1945. Borax availability in relation to soil reaction and organic matter content. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 10:113.
5. BROWN, J.C.; J.E. AMBLER; R.L. CHANEY and C.D. FOY. 1972. Differential responses of plant genotypes to micronutrients. pp. 389-418. In; Micronutrients in Agriculture. Madison Wisconsin (EE.UU) Soil Sci. Soc. of America (eds.) 666 p.
6. BRUGES, J.A. 1975. Evaluación general de los micronutrientes en los suelos de la Estación Experimental Caribia. ICA. Bogotá, Tesis M.S. Univ. Nacional. ICA. 118 p.
7. CARDEÑOSA, R. 1962. La "Rayadilla" del plátano en Colombia. Turrialba (Costa Rica) 12:118-127.

8. CASTRO, J.P. 1969. Formas de Mn en suelos de clima medio del Departamento de Nariño. In: Resúmenes de Investigaciones en Suelos. II Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto (Colombia) Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. pp.77-78.
9. CROWDER, L.V.; A. MICHIELIN y G.B. BAIRD. 1958. La producción de alfalfa en Colombia. II. Respuesta de las variedades de alfalfa a las aplicaciones de borax. Agric. Trop. (Colombia) 14:421-424.
10. CROWDER, L.V.; A. MICHIELIN, B. MARTINEZ y G.B. BAIRD. 1959. La producción de alfalfa en Colombia VII. Respuesta de la aplicación de borax en el Valle del Cauca. Agric. Trop. (Colombia) 15:387-395.
11. CHAMORRO, B. y C. ECHEVERRIA. 1972. Al, B, Co, Cu, Fe, Mn y Zn disponibles en suelos volcánicos de la Sabana de Túquerres Departamento de Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia) 4(1):23-39.
12. DAVIES, E.B. 1956. Factors effecting molybdenum availability in soils. Soil Sci. 81:209-221.
13. DAZA, J. 1959. Respuesta de la alfalfa a las aplicaciones de cal, fósforo y molibdeno en suelos ácidos. Acta Agronómica (Colombia) 9:1-24.
14. DE KOCK, P.C. 1955. Iron nutrition of plants at hight pH. Soil Si. 79:167-175.
15. DULCEY, G. y J. ORTEGA. 1972. Fraccionamiento de Mn en los suelos del Norte del Departamento del Cauca (Sector Santander-Villarrica). Pasto (Colombia), Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, 63 p.

16. ELGABALY, M.N. 1950. Mechanism of zinc fixation by colloidal clays and related minerals. *Soil Sci*, 69:167-173.
17. EPSTEIN, E. and P.R. STOUT. 1951. The micronutrients cations iron, manganese, zinc and copper: their uptake by plants from the adsorbed state. *Soil Sci*. 72:47-65.
18. FASSBENDER, H.W. 1975. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Tropical. Turrialba (Costa Rica). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas 398 p.
19. FLOR, C.A.; R. HOWLER y C.A. GONZALEZ. 1975. Zinc y Boro, dos microelementos limitativos para la producción de arroz y frijol en algunas regiones cálidas de Colombia. In: V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Medellín. p.20.
20. FOX, R.H. 1968. The effect of calcium and pH on boron uptake from high concentrations of boron by cotton and alfalfa. *Soil Sci*. 106:435-439.
21. FUJIMOTO, C.K. and G.D. SHERMAN. 1948. Behavior of manganese in the soil and the manganese cycle. *Soil Sci*. 66:131-145.
22. GALIANO, F. y GONZALEZ DE FORERO. 1961. Ensayos de invernadero con micronutrientes en suelo de la serie Techo (Sabana de Bogotá) *Tecnología (Colombia)* 3(9):27-28.
23. GAMMON, N. Jr.; G.M. VOLK; E.N. McCUBREN and A.H. EDDIAS. 1954. Soil factors affecting molybdenum uptake by cauliflower. *Soil Si. Soc. Amer. Proc.* 18:302-305.
24. GARAVITO, F. 1976. Propiedades del suelo en relación con deficiencias de boro en el Valle del Cauca. Tesis M.S. Bogotá, UN-ICA 86 p.

25. GUTIERREZ, D. 1974- Fertilización del maíz H-302 con fósforo y Zinc en un suelo del Oriente de Cundinamarca. Tesis M.S. Univ. Nal. ICA. Bogotá 107 p. (mimeografiado).
26. HIATT, A.J.; D.F. AMOS and H.F. MASSEY. 1963. Effect of aluminium on copper sorption by wheat. *Agron. J.* 55:284-287.
27. HIGUITA, F. y R. LORA. 1964. Respuesta de la coliflor a la aplicación de molibdeno. *Agric. Trop. (Colombia)* 20:638-643.
28. HOODSON, J.F. 1963. Chemistry of the micronutrient elements in soils. AD. In *Agron.* 15:119-159.
29. JONES, H.E. y D. SCARSETH. 1944. The calcium-boron balance in plants as related to boron needs, *Soil Sci.* 57:25-36.
30. JORDINE, G.C. 1963. Deficiencias nutrimentales del banano. *Agric. Trop. (Colombia)* 19:274-281.
31. KUBOTA, J.; K.C. BERGER y E. TRUOG. 1948. Boron movement in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13:130-134.
32. LEGUISAMON, J. 1975. Deficiencia de boro en cultivos de plátano en el Valle del Cauca. *Cenicafé (Colombia) Avances Tecnicos* no. 39.
33. LOPEZ, M. 1966. Algunas consideraciones sobre el contenido de hierro libre en varios suelos de los Llanos Orientales. *Agric. Trop. (Colombia)* 23:137-147.
34. LOPEZ, M. 1969. Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. In: I Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas en América Latina. pp. Turrialba (Costa Rica).

35. LORA, R. y F. HIGUITA. 1969. Respuesta de la coliflor a la cal y al molibdeno. *Agric. Trop. (Colombia)* 25:437-447.
36. LORA, R. 1977. Los micronutrientes y su importancia en la agricultura. pp. 135-170. En: *Curso sobre suelos y fertilizantes* Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario. 261 p. (mimeografiado).
37. LUCAS, R.E. and B.D. KNEZEK. 1972. Climatic conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In: *Micronutrients in agriculture*. Madison Wisconsin (EE.UU) Soil Sci. Soc. Amer. proc. (Eds) 666p .
38. MARIN, G.; H. CHAVERRA; L.V. CROWDER y G.B. BAIRD. 1960. Fertilización de la alfalfa en suelos de clima frío de Colombia. Bogotá. Ministerio de Agricultura de Colombia. Oficina de Investigaciones especiales. Boletín Técnico no. 7. 47 p.
39. MOTTA DE MUÑOZ, B. 1976. Efecto de dos métodos de fertilización con molibdeno en los rendimientos de coliflor (Brassica oleracea) Var. Bola de nieve en un suelo de la Serie Mosquera. Tesis M.S., Bogotá. UN-ICA. 88 p.
40. MUÑOZ, R. y A.H. MANZANO. 1973. Efecto del hierro en la nutrición y en la producción de arroz (Oriza sativa L) *Revista ICA*. 8:273-287.
41. OLARTE, L. y B. MOTTA. 1961. Deficiencia de boro en algunos suelos del Valle del Cauca. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Publicación IT-10.
42. OLSEN, S.R. 1972. Micronutrient interaction. pp. 243-264. In: *Micronutrient in Agriculture*. Madison, Wisconsin. Soil Sci. Soc. of America (ed). 666 p.

43. OLSON, R.V. y K.C. BERGER. 1946. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content and other factors. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 11:216-220.
44. 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 p.
45. PEECH, M. 1941. The effect of soil acidity on the availability of copper. Soil Sci. 51:473-486.
46. PONAMPERUMA, F.M. 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. in Agronomy. 24:24-96.
47. PUCHE, R. 1961. Respuesta del algodónero a la aplicación de elementos menores al suelo. Acta Agronómica (Colombia) 11:131-145.
48. REISENAUER, H.N.; A.A. TABIKH and P.R. STOUT. 1962. Molybdenum reactions with soils and the hydrous oxides of Fe, Al and Ti. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26:23-26.
49. RODRIGUEZ, M.J. y A.C. McCLUNG. 1964. Respuesta al molibdeno en los suelos rojos de Antioquia. Agric. Trop. (Colombia) 20:504-512.
50. SANCHEZ, C. and E.J. KAMPRATH. 1959. The effect of liming and organic matter content on the availability of native and applied manganese. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23:302.
51. SEATZ, L.F.; A. J. STERGES and J.C. KRAMER. 1959. Crop response to zinc fertilization as influenced by lime and phosphorus applications. Agron. J. 51:457-459.

52. SIMS, JR. and F.T. BINGHAM. 1967. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials. I Layer silicates. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:728-732.
53. SPENCER, W.F. 1966. Effect of copper on yield and uptake of phosphorus and iron by citrus seedling grown at various phosphorus levels. Soil Sci. 102:296-299.
54. STOUT, P.R.; W.R. MEAGHER; G.A. PEARSON and C.M. JOHNSON. 1951. Molybdenum nutrition of crop plants. I- The influence of phosphate and sulfate on the absorption of molybdenum from soils and solution cultures. Plant and Soil 3:51-87.
55. STUCKENHOLTZ, D.D.; R.J. OLSEN; G. COGAN and R.A. OLSON. 1966. On the mechanism phosphorus. Zinc interaction in corn nutrition. Soil Sci. Amer. Proc. 30:759-763.
56. VALENCIA, G. 1964. La deficiencia de boro en el cafeto y su control. Cenicafé (Colombia) 15:115-125.
57. VALENCIA, G.; A. MESTRE y M. DURAN. 1968. Respuesta a la aplicación de boro y zinc en un cafetal de Fredonia, Antioquia. Cenicafé (Colombia) 19(3):95-101.
58. VELASCO DE LA R. C. 1971. Fraccionamiento de las formas de Mn en los suelos del Altiplano de Pasto. In: Resúmenes de investigaciones en suelos. II. Panel sobre suelos volcánicos de América. Pasto (Colombia) Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. pp. 88-90.
59. WARNOCK, R.E. 1970. Micronutrient uptake and mobility with corn plantas (Zea mays L.) in relation to phosphorus. induced zinc deficiency. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:765-769.

60. WEAR, J.I. 1956. Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. *Soil Sci.* 81:311-315.