

DISPONIBILIDAD DEL MANGANESO EN CUATRO SERIES DE SUELOS DE
LA SABANA DE BOGOTA

TESIS

Presentada al Programa de Estudios para Graduados en Ciencias Agrarias
Universidad Nacional - Instituto Colombiano Agropecuario

Por

GARNIER GRANDETT JIMENEZ

Como requisito parcial para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

Bogotá, Colombia

1979

COLECCION AGROPECUARIA DE COLOMBIA

COMITE CONSEJERO

RODRIGO LORA SILVA M.S.

R. Lora Silva

GILDARDO MARIN MORALES M.S.

Gildardo Marin Morales

FABIO HIGUITA MUÑOZ M.S.

Fabio Higueta

"El Presidente de Tesis y el Consejo Examinador de grado, no serán responsables de las ideas emitidas por el candidato" (Artículo 217 de los Estatutos de la Universidad Nacional).

AGRADECIMIENTOS

Muy profundos a los doctores Rodrigo Lora S., Gildardo Marín M. y Fabio Higuera M.

Al señor Fidel Monroy

Al doctor Guillermo Riveros R.

Igualmente a la Universidad de Córdoba, Instituto Colombiano Agropecuario, especialmente al Programa de Suelos, sin cuya colaboración hubiera sido imposible la realización de este trabajo.

CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 2. REVISION DE LITERATURA | 4 |
| 2.1 Fuente de Manganeso en los Suelos. | 4 |
| 2.2 Formas y Contenidos de Manganeso en los Suelos. | 5 |
| 2.3 Factores que Afectan el Manganeso en los Suelos. | 11 |
| 2.3.1 Efectos del pH del Suelo sobre el Manganeso. | 11 |
| 2.3.2 Reacciones Químicas que Afectan la Asimilación del Manganeso. | 14 |
| 2.3.3 Materia Orgánica y otros Factores. | 17 |
| 2.4 Determinación del Manganeso en los Suelos. | 20 |
| 2.5 Aplicaciones de Manganeso al Suelo. | 24 |
| 2.6 El Manganeso en las Plantas. | 27 |
| 3. MATERIALES Y METODOS | 32 |
| 3.1.1 Ensayo de Laboratorio. | 32 |
| 3.1.2 Ensayo de Invernadero. | 32 |
| 3.1.3 Ensayo de Campo. | 33 |

| | Página |
|--------|---|
| 3.2 | Descripción de la Zona y Localización de los Suelos. 33 |
| 3.2.2 | Serie Techo. 34 |
| 3.2.3 | Serie Tibaitatá. 35 |
| 3.2.4 | Serie Bermeo. 35 |
| 3.2.5 | Serie Cabrera. 36 |
| 3.3 | Recolección y Preparación de las Muestras de Suelos. 36 |
| 3.3.1 | Ensayo de Laboratorio. 37 |
| 3.3.2 | Ensayo de Invernadero. 37 |
| 3.3.3. | Ensayo de Campo. 37 |
| 3.4 | Métodos de Análisis de Suelos. 38 |
| 3.4.2 | Carbón Orgánico. 38 |
| 3.4.3 | Bases Intercambiables. 39 |
| 3.4.4 | Fósforo. 39 |
| 3.4.5 | Aluminio Intercambiable. 39 |
| 3.5 | Métodos de Análisis de Manganeso en los Suelos. 39 |
| 3.6 | Procedimientos para los Ensayos. 41 |

| | Página | |
|-------|---|-----|
| 3.6.1 | Ensayo de Laboratorio. | 41 |
| 3.6.2 | Ensayo de Invernadero. | 41 |
| 3.6.3 | Ensayo de Campo. | 43 |
| 3.7 | Análisis Foliar de los Tejidos Vegetales. | 44 |
| 3.8 | Métodos Estadísticos. | 45 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSION | 46 |
| 4.1 | Caracterización de los Suelos. | 46 |
| 4.2 | Ensayo de Laboratorio. | 49 |
| 4.3 | Ensayo de Invernadero. | 60 |
| 4.4 | Ensayo de Campo. | 76 |
| 5. | CONCLUSIONES | 85 |
| 5.1 | Ensayo de Laboratorio. | 85 |
| 5.2 | Ensayo de Invernadero. | 87 |
| 5.3 | Ensayo de Campo. | 88 |
| 6. | RESUMEN | 90 |
| 7. | SUMMARY | 93 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 96 |
| | APENDICE | 103 |

LISTA DE TABLAS

| TABLA No. | | Página |
|--------------|---|--------|
| 1 | Características físicas y químicas de cuatro series de suelo de la Sabana de Bogotá. | 47 |
| 2 | Contenido de Manganeso (ppm. de Mn) en suelos de cuatro series de la Sabana de Bogotá. | 50 |
| 3 | Contenido promedio de manganeso (ppm. de Mn) en suelos de cuatro series de la Sabana de Bogotá. | 61 |
| 4 | Rendimiento de materia seca (g./pote) del frijol var. Tundama, obtenidos en invernadero con diferentes dosis de sulfato de manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá. | 62 |
| 5 | Contenido de manganeso (ppm. de Mn) en la parte aérea del frijol var. Tundama obtenidos en un invernadero con diferentes dosis de sulfato de manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá. | 67 |

| | | |
|---|--|----|
| 6 | Contenido promedio de hierro, manganeso, zinc y cobre (ppm. de Fe, Mn, Zn y Cu) en la parte aérea del frijol var. Tundama obtenida en invernadero con diferentes dosis de sulfato de manganeso en cuatro series de suelo de la Sabana de Bogotá. | 70 |
| 7 | Contenido de hierro, manganeso, zinc y cobre (ppm. de Fe, Mn, Zn y Cu) en las raíces del frijol var. Tundama obtenidos en invernadero con diferentes dosis de sulfatos de manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá. | 71 |
| 8 | Contenido de manganeso (ppm. de Mn) extraído por los métodos A, B, C y D en bloques de suelos de la serie Tibaitatá. | 77 |
| 9 | Contenido de hierro, manganeso, zinc y cobre (ppm. de Fe, Mn, Zn y Cu) en limbos del frijol var. Tundama obtenidos en el campo a los 65 días después de germinado con diferentes dosis de sulfato de manganeso en suelo de la serie Tibaitatá. | 78 |

TABLA
No.

Página

- | | | |
|----|--|----|
| 10 | Rendimientos en kg./Ha. del frijol var. Tundama obtenidos en el campo con diferentes dosis de sulfato de manganeso en suelo de la serie Tibaitatá. | 80 |
| 11 | Contenido de hierro, manganeso, zinc y cobre (ppm. de Fe, Mn, Zn y Cu) en granos de frijol var. Tundama obtenidos en el campo con diferentes dosis de manganeso en suelos de la serie Tibaitatá. | 83 |
| 12 | Contenido de manganeso (ppm. de Mn) en granos de frijol var. Tundama obtenidos en el campo con diferentes dosis de sulfato de manganeso en suelo de la serie Tibaitatá. | 84 |

LISTA DE FIGURAS

| FIGURA No. | | Página |
|---------------|--|--------|
| 1 | Contenidos promedios de manganeso de las cuatro series de suelos por los métodos A, B, C y D. | 52 |
| 2 | Rendimientos de materia seca en g./pote del fríjol var. Tundama obtenidos en invernadero con diferentes dosis de sulfato de manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá. | 63 |
| 3 | Contenidos de manganeso en la parte aérea del fríjol var. Tundama obtenidos en invernadero con diferentes dosis de sulfato de manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá. | 68 |
| 4 | Contenidos de hierro en la parte aérea del fríjol var. Tundama con diferentes dosis de sulfato de manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá. | 73 |
| 5 | Contenidos de hierro y manganeso en la parte aérea del fríjol var. Tundama con diferentes dosis de Sulfato de Manganeso en dos series de suelos de la Sabana de Bogotá. | 74 |

LISTA DE TABLAS DEL APENDICE

| TABLA No. | | Página |
|-----------|---|--------|
| 1 | Análisis de varianza para el contenido de manganeso en ppm. de las cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá por los métodos A, B, C y D. | 104 |
| 2 | Resultado de la prueba de Tuckey aplicadas a medias de series de suelos de la Sabana de Bogotá de los sitios de la determinación de manganeso en ppm. por los métodos A, B, C y D. | 105 |
| 3 | Resultados de la prueba de Tuckey aplicada a los métodos usados en las cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá para la determinación del manganeso en ppm. | 106 |
| 4 | Resultados de la prueba de Tuckey aplicada a medias de las interacciones series por métodos en la determinación de manganeso en ppm. en suelos de las cuatro series de la Sabana de Bogotá. | 107 |

TABLA
No.

Página

| | | |
|---|--|-----|
| 5 | Análisis de varianza de los rendimientos del frijol variedad Tundama para las variables series y dosis de sulfato de manganeso en suelos de la Sabana de Bogotá obtenidos en invernadero. | 108 |
| 6 | Resultados de la prueba de Tuckey aplicada a los rendimientos del frijol variedad Tundama (en g./pote) de materia seca en las cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá, obtenidos en invernadero. | 109 |
| 7 | Análisis de varianza del contenido de manganeso (ppm. de Mn) del frijol variedad Pará las variables series y dosis de sulfato de manganeso en suelos de la Sabana de Bogotá obtenidos en invernadero. | 110 |
| 8 | Resultados de la prueba de Tuckey aplicada a las series en los contenidos de manganeso (ppm. de Mn) en la parte aérea del frijol variedad Tundama con diferentes dosis de sulfato de manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá obtenidos en invernadero. | 111 |

TABLA
No.

Página

| | | |
|----|---|-----|
| 9 | Análisis de varianza para los contenidos de manganeso (ppm. de Mn) por los cuatro métodos en el experimento de campo en el suelo de la serie Tibaitatá. | 112 |
| 10 | Resultados de la prueba de Tuckey aplicada a las medias de los contenidos de manganeso (ppm. de Mn) extraído por los cuatro métodos en el experimento de campo en el suelo de la serie Tibaitatá. | 113 |
| 11 | Análisis de varianza para los rendimientos del frijol variedad Tundama con diferentes dosis de sulfato de manganeso en el experimento de campo. | 114 |
| 12 | Análisis de varianza para el contenido de manganeso (ppm. de Mn) en granos de frijol variedad Tundama con diferentes dosis de sulfato de manganeso en el experimento de campo. | 115 |

1. INTRODUCCION

De los 16 elementos conocidos hoy como esenciales para el desarrollo y reproducción de las plantas superiores y microorganismos, siete son requeridos en pequeñas cantidades por lo que se le denomina micronutrientes, elementos trazas o elementos menores. Estos elementos son el hierro, el manganeso, el cobre, el zinc, el boro, el molibdeno y el cloro. El análisis de los tejidos de las plantas revela la existencia de otros elementos en bajas cantidades pero no son considerados como esenciales; entre éstos podemos citar el silicio, el vanadio y el sodio que pueden ayudar al desarrollo de algunas especies; otros elementos como el cobalto, el yodo, y el selenio son indispensables para los animales (12).

No todos los suelos están en capacidad de suministrar en cantidades adecuadas los micronutrientes a las plantas. En los últimos 50 años se han reportado miles de casos de deficiencias de elementos menores y muchos fracasos en las cosechas. Estos problemas son atribuidos a una serie de situaciones como la remoción del suelo de los elementos trazas hasta agotar la reserva del suelo. Otra causa es el avance de la fitogenética que ha desarrollado nuevas variedades de plantas que rinden más por unidad de superficie necesitando niveles más altos de fertilidad de los suelos acompañada por el implan-

tamiento de nuevas prácticas culturales. La técnica en la producción de fertilizantes de alto análisis que elimina el uso de sales impuras que fundamentalmente contenían elementos menores, es otra causa y por último se puede citar el avance en el conocimiento de la nutrición mineral y desarrollo de instrumentos para analizar en este campo con mayor solvencia el problema y diagnosticar con más eficiencia la solución (3.42).

Leeper, citado por Benavides (3) reportó que la química del manganeso en el suelo es de importancia económica y científica. En suelos salinos y alcalinos el manganeso es insuficiente para el normal desarrollo de las plantas y en suelos ácidos puede causar problemas de fitotoxicidad. Por su parte la distribución de las varias formas en que se encuentra en el suelo, que están íntimamente relacionadas con los procesos de la formación del suelo, es otro aspecto básico.

En Colombia existe poca información relacionada con el manganeso y su relación con el complejo suelo-planta.

En vista de lo anterior y considerando que el manganeso puede presentar problemas con los cultivos de la zona, se planteó el presente trabajo como una forma de aportar alguna información referente al manganeso en cuatro

series de suelos de la Sabana de Bogotá, sometidos a una intensa explotación agropecuaria, con los siguientes objetivos principales:

1. Determinar el manganeso, intercambiable y el soluble en agua, en suelos de cuatro series de la Sabana de Bogotá.
2. Evaluar el efecto del sulfato de manganeso como fertilizante sobre la absorción de los elementos hierro, manganeso, cobre y zinc, utilizando como planta indicadora el fríjol (Phaseolus vulgaris) var. Tundama.
3. Conocer la respuesta del fríjol variedad Tundama a la aplicación de manganeso en un suelo de la serie Tibaitatá, de la Sabana de Bogotá, y los contenidos de hierro, manganeso, cobre y Zinc, bajo condiciones de campo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Fuente de Manganeso en los Suelos.

El contenido de elementos trazas en un suelo depende casi completamente de las rocas que han dado origen al mismo, y de los factores y procesos pedogenéticos a los que han estado sometidos los materiales formadores de suelos. La presencia de un elemento en las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias depende de los elementos químicos que forman los minerales que integran dichas rocas. La existencia de un elemento menor en un determinado mineral está definida por reglas geoquímicas que rigen su distribución en la naturaleza, la sustitución isomórfica, el tamaño particular de cada radio iónico y procesos que los intemperizan y más tarde forman minerales secundarios por síntesis (2.12).

El manganeso se encuentra en varios minerales primarios, en contenidos variables, entre los cuales se pueden citar los más abundantes que son el olivino, granate, augita, horblenda, biotita, andesita y anortita. Entre los minerales secundarios que contienen manganeso está el psilomelano, piro-lousita, manganita y hausmanita (12, 14).

En las rocas ígneas el contenido de manganeso es lo suficientemen-

te alto para satisfacer las demandas de las plantas en casi cualquier caso, pero los mismos factores que afectan el aprovechamiento son los que determinan las deficiencias. En las rocas sedimentarias su contenido depende de los sedimentos que forman dichas rocas, en términos generales los suelos procedentes de areniscas son pobres en manganeso, las pizarras originan suelos con contenidos aceptables, y los suelos cuyo material parental son calizas, su contenido depende del tipo de caliza. Las rocas metamórficas tienen un contenido variable y de manera impredecible en comparación al contenido de la roca preexistente. En general, las cuarcitas son pobres en manganeso, debido a que la arenisca original contenía poco manganeso. Las rocas metamórficas básicas casi siempre son relativamente ricas en manganeso y otros elementos trazas (12).

2.2 Formas y Contenidos de Manganeso de los Suelos.

Dentro de las formas de los micronutrientes en los suelos, Fassbender (14) informa que pueden considerarse las siguientes:

1. Estructural o relacionada a los minerales primarios o secundarios presente en los suelos.
2. Precipitación en formas de óxidos e hidróxidos, especialmente en el caso

del hierro y el manganeso.

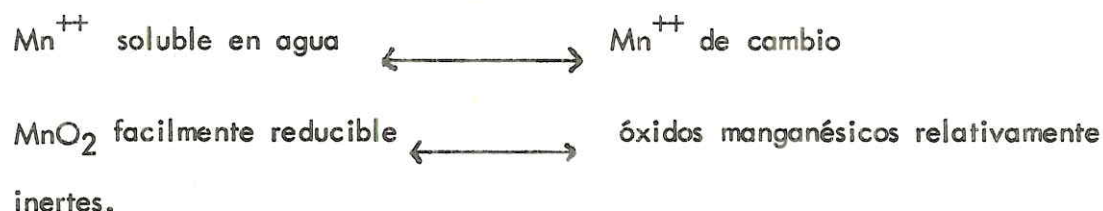
3. Incorporados a la materia orgánica formando quelatos.
4. Adsorbida en el complejo coloidal del suelo y soluble y presente en la solución del suelo.

La integración de estas diferentes formas producen el contenido total del elemento menor considerado para un suelo.

La diferenciación de estas formas se realiza por diversos métodos químicos de análisis de suelos. En el caso de los elementos menores para la nutrición de las plantas superiores se buscan las formas solubles que las plantas sean capaz de tomar. Leeper, citado por Benavides (3), clasificó el manganeso en el suelo tomando como criterio la forma como las plantas lo toman del mismo suelo, en las siguientes categorías:

1. El ión divalente (Mn^{++}) o sea el existente en la solución del suelo y en la forma intercambiable adsorbida por los coloides orgánico y mineral.
2. Los óxidos superiores que pueden llegar a ser aprovechables por reducción.
3. Los óxidos de manganeso no aprovechables por las plantas. Este mismo

investigador hace referencia que dentro de las formas mencionadas existe un equilibrio dinámico que sencillamente se puede visualizar así:



Desde el punto de vista de la aplicación de la química agrícola y de la utilidad práctica para relacionar los problemas del manganeso en los suelos, Sherman, citado por Benavides (3) dividió el manganeso en las siguientes formas:

- a. Manganeso soluble en agua. Comprende el manganeso que está en la solución del suelo y puede ser extraído con agua.
- b. Manganeso intercambiable. Comprende el manganeso que se encuentra saturando cargas negativas en el complejo coloidal.
- c. Manganeso facilmente reducible. Es la cantidad de manganeso que puede ser extraída de un suelo con una solución de acetato de amonio normal más hidroquinona al 0.2%.

d. Manganese total. Este manganese se determina en los suelos generalmente por fusión de una muestra de suelo.

Toth (60), estudiando 23 suelos de New Jersey, encontró que el contenido total de manganese varía ampliamente dependiendo del material de origen del suelo y del clima; para estos suelos su contenido osciló entre 0.01 a 0.3%. Fassbender (14), indica el contenido de manganese total para varios suelos de 100-4.000 ppm. y que es relativamente alto comparado con otros elementos menores, exceptuando el hierro. Castro y Blasco (8), trabajando en suelos de Nariño, Colombia, encontraron un promedio 1.100 ppm. y Benavides (3) en suelos de la Sabana de Bogotá encontró cantidades variables entre 0.0087 hasta 0.059%, con un promedio de 0.029% de manganese total.

Sobre las otras formas de manganese en los suelos existe poca información en Colombia y otros países de América Latina. Randhama et al. (48), en 41 suelos de la India bajo distintas condiciones ecológicas determinaron el manganese soluble en agua, el manganese intercambiable y otras formas por el método Sherman et al. Los datos indican que el manganese soluble en agua presentó menor cantidad comparado con las otras formas del elemento, variando desde trazas hasta 2.6 ppm., el manganese intercambiable varió tam-

bién desde trazas hasta 40 ppm. y ambas formas de manganeso incrementaron con la acidez de los suelos. Vinayak et al. (63) usando el mismo método anterior informa que en ocho suelos analizados las cantidades de manganeso soluble en agua variaron desde 0.26 a 0.78 ppm. y no encontraron relación entre las cantidades de manganeso soluble en agua y el tipo de suelo, además el manganeso intercambiable varió entre 1.63 a 12.3 ppm. y el porcentaje de arcilla hizo incrementar las cantidades de esta forma de manganeso. Fassbender y Roldán (13) analizando 62 muestras de suelos de América Central distribuidos en 21 fluviosoles, 17 andosoles y 24 de otros grupos, encontraron poca variación respecto a las distintas formas de manganeso. El manganeso soluble en agua y el intercambiable presentan promedios de 2.64 y 13.18 ppm. en los fluviosoles, los andosoles presentan valores de 1.52 a 9.57 ppm. respectivamente y los otros suelos presentan contenidos más altos. En suelos derivados de cenizas volcánicas en Chile, Shalscha (51), investigando la disponibilidad de elementos trazas y usando varias soluciones para extraer manganeso disponible de los suelos, obtuvo en la capa superficial promedios de 17.9, 11.3 y 38.2 ppm. para la solución extractante de ácido fosfórico, fosfato de amonio y acetato de amonio respectivamente. Castro y Blanco (8), en suelos de Nariño, clasificados como vitrandepts y distrandepts, consiguieron contenidos máximos, mínimos y promedios de 22, 3 y 9, y de 7, 0.1 y 2.5 ppm. pa-

ra el manganeso intercambiable y soluble en agua respectivamente. Las formas intercambiables y soluble en agua tienden a incrementarse en la capa arable.

Gómez et al. (19), en un suelo de la Sabana de Bogotá de la serie Bermeo, estudiando los contenidos de micronutrientes a diferentes profundidades del perfil y con distintas soluciones extractoras del elemento, encontraron que los contenidos del elemento disminuían con la profundidad del suelo y que el manganeso intercambiable extraído con acetato de amonio normal y neutro arrojó contenidos a la profundidad de 20 cms. de 2.60 ppm. y en HCl 0.1 N para esa misma profundidad 21.4 ppm. de manganeso. Benavides (3) evaluando las distintas formas de manganeso por el método Sherman et al. en 14 series de suelos de la Sabana de Bogotá, consiguió mucha variación en el manganeso de cambio, desde 1.3 ppm. en Cabrera hasta 30.97 ppm. en Zipaquirá. Los suelos ricos en materia orgánica, aunque presentaron bajo contenido de manganeso de cambio, mostraron mayor homogeneidad en cuanto al contenido de esta forma de manganeso. Benavides (3) indica que es conveniente hacer aplicaciones de manganeso para obtener mejores rendimientos en los suelos de las series Cabrera, Facatativá, Sabana de Bogotá, Fusagasugá, Corzo y Bermeo. El contenido de manganeso soluble en agua de estos suelos, es más bien bajo, a pesar de tener un pH bajo generalmente, y no se pueden

esperar efectos tóxicos en los cultivos causados por concentraciones altas de esta forma de manganeso, independiente de las otras formas del elemento; su contenido osciló entre 0.01 ppm. en la serie Cabrera a 1.68 ppm. en la serie Nemocón, con un promedio de 0.43 ppm.

2.3 Factores que Afectan el Manganeso de los Suelos.

El manganeso ocurre en los suelos en diferentes formas con amplias divergencias de solubilidad. La presencia o predominio de una forma sobre otras está determinada por características físicas, químicas y biológicas de los suelos. Estas características particulares de los suelos actúan en forma conjunta sobre la asimilabilidad del elemento por las plantas superiores.

2.3.1 Efectos del pH del Suelo sobre el Manganeso.

La reacción del suelo tiene mucha influencia en las características químicas de los suelos, y todos aquellos factores que tienden a modificar el pH del suelo afectan las formas de manganeso de los suelos; entre éstos se puede citar el enclamiento en suelos ácidos. Suelos con valores de pH menor 5.5 pueden contener altas cantidades de manganeso soluble en agua o intercambiable. Con incrementos del pH el Mn^{++} es convertido a óxidos mangáni-

cos (Mn^{+++} y Mn^{++++}). Como resultado de lo anterior, bajo ciertas circunstancias, se pueden presentar deficiencias de manganeso y el encalamiento puede reducir la asimilación del manganeso aplicado o natural por las plantas. La reducción de los óxidos de manganeso a Mn^{++} puede ocurrir por reacciones directas con la materia orgánica o por procesos biológicos. La reducción está más estrechamente ligada a pH bajos y contenidos de materia orgánica (43).

Morris (41), reporta que el manganeso soluble en agua está correlacionado con la acidez del suelo, mientras que el intercambiable no está influenciado mayormente por el pH del suelo. Tanaka *et al.* (57), encontraron en suelos forestales de Wisconsin que el Mn^{++} intercambiable varió entre 0.9 a 19.4 ppm. y esta forma de manganeso decreció con el decrecimiento de la acidez. La cantidad de manganeso asimilable del suelo está ligada más a la reacción del suelo que a la capacidad de nutrición de las plantas. El contenido total de manganeso en suelos orgánicos es de poco valor para predecir la necesidad de fertilizantes, el manganeso decreció con valores encima de pH 5.5 y presentó deficiencias a valores de 6.5 a 7.5 de pH (34).

Mehlich (39), estudió el efecto de la precipitación de los óxidos hidratados de hierro y aluminio sobre la solubilidad del Mn^{++} y la toma por las raíces de las plantas relacionados con distintos valores de pH. Las precipitaciones del manganeso como $Mn(OH)_3$ o $Mn_2O_3 \cdot xH_2O$ del sulfato de manganeso-

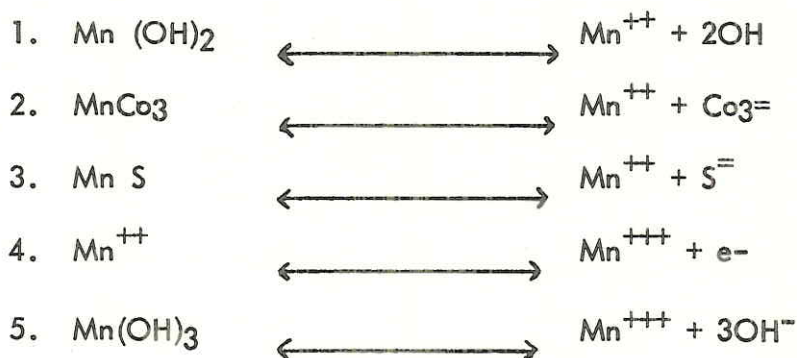
so con adiciones de hidróxido de calcio se presentaron a pH 8.5, mientras que la presencia del aluminio e hierro trivalente en forma de sales precipitaron el elemento a pH 5.8 y con Fe^{+++} a pH 6.8. Los elementos hierro y aluminio juntos tienen mayor efecto en la precipitación del manganeso que los elementos solos. Estos efectos se deben a la capacidad de suministrar hidróxilos al sistema de los sesquióxidos de hierro y aluminio, para precipitar el manganeso a bajos pH. Abruña (1), en suelos con predominancia de arcilla caolinita, alto contenido de hierro libre y óxidos de aluminio y con un 4% de materia orgánica, informa que las aplicaciones de fertilizantes aumentaban el aluminio y manganeso, pero estos contenidos decrecían con el encalamiento del suelo.

Fumijoto et al. (17), estudiando el efecto de las aplicaciones de cal como carbonato de calcio o dolomita encontraron que los incrementos reducían el manganeso intercambiable y la absorción por las plantas, pero que las adiciones de materia orgánica resultaron en un incremento de Mn^{++} intercambiable en los suelos. White (64) en un suelo ácido podzólico obtuvo efecto deprimente de las aplicaciones de cal dolomita en dosis entre 0 y 1.500 ppm. de cal sobre el manganeso soluble en agua e intercambiable cuando se elevó el pH del suelo, también decreció el nivel de manganeso en los tejidos de las plantas de cebada, alverja y frijol. El frijol fué un buen indicador

para la toxicidad del elemento y ésta se presentó cuando el contenido en los tejidos era aproximadamente de 1.000 ppm. Las grandes cantidades de manganeso soluble adicionadas al suelo fueron rápidamente convertidas a formas no intercambiables bajo estudios de invernadero y campo con adiciones crecientes de cal. Las adiciones de materia orgánica a suelos con bajo contenido de manganeso y ácidos, incrementaron el manganeso intercambiable bajo los mismos contenidos de humedad (50).

2.3.2 Reacciones Químicas que Afectan la Asimilación del Manganeso.

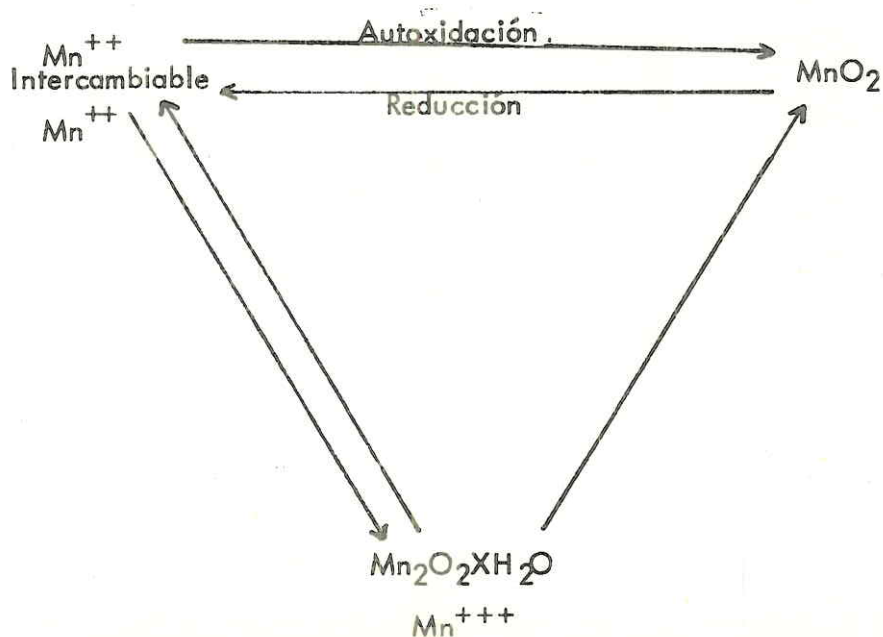
La química del manganeso y el hierro es similar, porque en ambos casos el valor del pH y el potencial redox afectan de manera notable la solubilidad de estos dos elementos. De una manera simplificada y para una mejor ilustración las reacciones se pueden esquematizar así (12);





Es muy posible que la reacción 6 regule la concentración de manganeso en la solución del suelo cuando está presente el MnO_2 , depende en grado sumo del potencial de oxidación del suelo, que el MnO_2 exista en suelos bien oxidados y del pH. Los suelos en condiciones favorables para el crecimiento de las plantas tienen poco Mn^{+++} y la existencia de esta forma está limitada únicamente a algunos complejos orgánicos muy estables. Bajo condiciones de reducción y en suelos con drenaje restringido y pH alto, se puede formar MnS o MnCO_3 , pero estos casos son muy aislados (12).

Mulder y Gerretsen (43), en una extensa revisión de literatura hacen notar que en suelos alcalinos una significativa parte del manganeso del suelo existe más o menos altamente hidratada, y representan el ciclo del manganeso de la siguiente forma:



Estos autores mencionan que la autooxidación del MnO_2 probablemente se efectúa a valores de pH 8 y pasa luego a trivalente. En suelos ácidos los hidróxidos de manganeso se transforman en iones divalentes de manganeso y formas moleculares de MnO_2 de acuerdo a la siguiente ecuación:



La comparación de la solubilidad del MnO_2 con otras formas de minerales de manganeso indica que el MnO_2 es más estable que el manganeso trivalente como hidróxido y estos minerales de manganeso bajo cambios regulares en los suelos de oxígeno, CO_2 y bien drenados tienen pequeñas variaciones. La alta solubilidad del manganeso en el suelo puede deberse a la formación de coprecipitados con óxidos de manganesos u otros metales pesados, particularmente hierro (42).

Collings y Boul (10), examinando el efecto de las influencias del potencial redox y pH en el desarrollo del equilibrio sobre el hierro y el manganeso, hacen resaltar que estos dos parámetros son controles básicos significativos que contribuyen a la génesis de suelos ricos en manganeso o acumulaciones ferromagnéticas. El hierro y el manganeso presentes en solución y con valores bajos de potencial redox, el manganeso interfiere con la preci-

pitación del hierro y la remoción del manganeso de la solución se debe a la oclusión y sorción por precipitados sólidos del hierro, estas reacciones no son reversibles en corto tiempo y en la acidificación del medio los precipitados de hierro y manganeso mezclados no solubilizan al hierro pero si pequeñas fracciones del manganeso. La reacción tiene lugar cuando se realiza un intercambio entre los iones de hidrógeno y Mn^{++} , lo que indica que este proceso es de gran importancia en las reacciones del suelo y nutrición de las plantas para el manganeso.

2.3.3 Materia Orgánica y otros Factores.

El contenido de materia orgánica de un suelo está determinado por una serie de parámetros edáficos y ecológicos, ligados a la actividad de los microorganismos y el manejo del suelo que conducen al grado de descomposición, acumulación y tipo de materia orgánica presente en los suelos. El papel de esta materia orgánica en la conversión del Mn^{++} a las formas insolubles de compuestos de manganeso no está claro. La aparición de deficiencias de Mn^{++} en las plantas en suelos con alto contenido de materia orgánica es reportado por muchos trabajos y el problema se agrava cuando la reacción del suelo tiene valores de 6.0 a 6.5 de pH o más. Estas deficiencias son mayores en suelos arenosos que arcillosos. La oxidación de compuestos

de manganeso tiene lugar por la acción de bacterias, hongos de diferentes especies y otros microorganismos. La oxidación microbial de estos compuestos a formas insolubles es de una evidencia positiva y se efectúa por la producción de la celulosa y otros compuestos de origen vegetal que actúan sobre las sales de manganeso; estos ácidos son rápidamente oxidados químicamente por el oxígeno del suelo y cuando el pH es alto, encima de 7, la aplicación de materiales orgánicos al suelo puede inducir deficiencias de manganeso, dependiendo de la naturaleza de la materia orgánica (43).

Geering et al. (18) también confirman la actividad de los microorganismos en la oxidación del manganeso y formación de complejos a partir del manganeso soluble, estos investigadores obtuvieron precipitados por intervención microbial e indica que la solución del suelo tiene manganeso oxidado.

Shchnitzer (52), en experimentos tendientes a dilucidar las reacciones entre los ácidos fúlvicos solubles en agua y los cationes divalentes en suelos podzólicos con pH 5 encontró el siguiente orden de estabilidad de los compuestos formados: cobre > plomo > hierro > níquel > manganeso > cobalto > calcio > magnesio. Las reacciones entre los ácidos fúlvicos, los iones metálicos y los óxidos hidratados ocurren simultáneamente con los hidróxidos

de los grupos carboxilos y fenólicos de los ácidos fúlvicos con los iones metálicos.

Otros factores fueron investigados por Rich (49) en suelos de Virginia EE.UU. resultando una correlación significativa al 1% entre el contenido de manganeso en las hojas de maíz y el pH, capacidad de intercambio catiónico, manganeso intercambiable, calcio, magnesio y sodio; el 28% de las variaciones del contenido de manganeso en las hojas se debe al pH. Entre los siguientes factores del suelo no encontró correlación, con el contenido de manganeso en las hojas, materia orgánica, fósforo asimilable, potasio intercambiable y potencial de óxido-reducción. Tokkar (56), midió los efectos de la temperatura y la saturación de los suelos sobre el manganeso de los suelos, encontró influencia de la temperatura y la saturación de acuerdo al tiempo de incubación y la reacción del suelo.

Christensen et al. (9), en un suelo franco-arenoso encontró también disminución del manganeso intercambiable del suelo con el encalado, en

suelos encañados la influencia de la materia orgánica sobre el estado del manganeso está determinada por el período de descomposición y en suelos no encañados afecta el manganeso después de su descomposición. Los estados del manganeso en relación a su adimilación están grandemente afectados por el pH, siguiendo en orden la materia orgánica y la humedad.

2.4 Determinación del Manganeso en los Suelos.

Uno de los objetivos de las pruebas de micronutrientes en los suelos es separar las zonas deficientes de las no deficientes en determinado elemento. La información es importante para analizar cuando un suelo puede suplir un elemento para una óptima producción y en caso contrario tomar medidas necesarias para corregir el problema, otro objetivo es determinar la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes (42).

Viets (62) ha seguido el concepto de varios gradientes en el sistema suelo micronutrientes y de acuerdo a su concepto existen cinco:

1. Soluble en agua,
 2. Intercambiable,
 3. Adsorbido o en forma de quelato,
 4. Minerales secundarios o formas insolubles de óxidos, y
 5. Minerales primarios.
- Los tres primeros son los que intervienen activamente en el equilibrio y el cambio en uno de ellos resulta en un cambio en los otros gra-

dientes, son estos tres primeros los más importantes para suplir micronutrientes a las plantas durante su período de crecimiento. Las pruebas para micronutrientes deben extraer una porción o todo su contenido de un determinado elemento de los tres gradientes primeros.

Además, citado por Morvet (42) indica que el contenido de manganeso intercambiable es probablemente mejor para estimar el manganeso inmediatamente asimilable en suelos con pH alto, mientras los niveles obtenidos de manganeso soluble en agua son probablemente mejores en suelos con pH bajo. En algodón los rendimientos incrementaron cuando el contenido era menor de 2.3 ppm. y se aplicó manganeso al suelo.

Page (45) y Page et al. (44), en suelos con diferentes características obtuvieron una correlación significativa entre el manganeso soluble en agua y el manganeso tomado por las plantas de avena.

Boken (5) usó nitrato de calcio y magnesio para determinar el manganeso en los suelos y encontró una dependencia entre el extractante y el suelo; en cuanto mayor era la relación extractante/suelo, mayor fué la cantidad de manganeso extraído del suelo. El pH de la solución de $Mg(NO_3)_2$ tuvo poco efecto dentro de aquellos suelos que tienen alta capa-

acidad buffer. También el contenido de manganeso valorado por las soluciones anteriormente citadas decreció con el incremento del carbón orgánico, no presentó relación entre el pH y la muestra seca y almacenada durante un año. Se notó respuesta al sulfato de manganeso cuando el contenido de manganeso extraído del suelo era inferior del límite 4 ppm. Este investigador considera que para usar las determinaciones químicas como guía de la habilidad del suelo para suplir manganeso a los cultivos, es necesario considerar la variedad y especie de cultivo para interpretar los resultados.

Browman (6), buscó una evaluación del manganeso extraído del suelo con acetado de amonio, nitrato de magnesio y otros extractantes para predecir la habilidad del suelo para suministrar manganeso a las plantas de raíz. Los resultados obtenidos en este trabajo indican una relación entre el manganeso tomado por las plantas y el extraído con $Mg(NO_3)_2$; el carbón orgánico y el contenido de arcilla tiene alta significación con el manganeso extraído con $Mg(NO_3)_2$; la variable que más correlación tenía fué la del valor del pH del suelo.

Por medio de varios estudios se han fijado los niveles críticos de manganeso extraído por $Mg(NO_3)_2$ que pueden servir de guía; menos de 3ppm.

del elemento en los suelos con cualquier textura son deficientes, más de 16 ppm. en suelos arenosos, es tóxico, y más de 30 ppm en suelos limosos, es tóxico (12).

Cox (11), buscando predecir los rendimientos de soya en experimentos de campo con el manganeso extraído del suelo con una solución ácida (0.05N. HCl + 0.25N. H₂SO₄), incluyendo el valor del pH del suelo, encontró que el grado de respuesta puede ser predecido con el pH y la solución extractora indicada. El método puede predecir la respuesta a la aplicación de manganeso para soya, con los límites críticos 5 a 9 ppm. con pH 6 y 7, respectivamente en los suelos.

Hoff y Mederki (24), investigando nueve métodos de extracción de manganeso en 25 suelos con diferentes características encontró que el manganeso extraído con fosfato monoamónico, alcohol hidroquinona y ácido fosfórico 0.1N; son apropiados para predecir la deficiencia y superiores a los otros métodos estadísticamente. El manganeso extraído con acetato de amonio normal y neutro estimó pobremente la respuesta de la soya en este nutriente.

Hammes y Berger (21), estimaron el manganeso asimilable ex -

traído con fosfato monoamónico 1.5 M, ácido fosfórico 0.1N y el tomado por las plantas de avena. Estos métodos mostraron en general que cuando el contenido de manganeso del suelo era 30 ppm. o más era suficiente, con 15 ppm. se presentaban deficiencias severas y de 15 a 20 ppm. la deficiencia era moderada; todas las determinaciones se realizaron en muestras de suelos secas al aire. El coeficiente de correlación o fué tan alto en las muestras húmedas y el manganeso extraído en muestras secas fué de 60 a 100% mayor que el extraído en muestras húmedas. La extracción química del manganeso revela que el secado de las muestras húmedas libera manganeso por una condición aeróbica que produce una actividad microbiana o una oxidación química de la materia orgánica (22).

2.5 Aplicaciones de Manganeso al Suelo.

Mederski y Hoff (38) midiendo la efectividad del sulfato y óxido de manganeso como fuentes de fertilizantes para corregir las deficiencias en cultivos de soya, informan que ambos fertilizantes cuando son mezclados con un fertilizante apropiado, tienen un adecuado control de las deficiencias, pero el óxido es menos asimilable y por lo tanto menos efectivo en suplir manganeso al suelo para las plantas. Las combinaciones de Mn con PK, NPK o NP son específicamente efectivas en incrementar la habilidad de las

fuentes de Mn para la toma de las plantas. Steckel et al. (55) y Steckel (54), en experimentos de campo con soya indican que el sulfato de manganeso mezclado con el superfosfato y aplicado en banda, es más efectivo para suministrar manganeso a las plantas que cuando se aplican separados. Este investigador sugiere que la habilidad del sulfato de manganeso aplicado con el superfosfato es debido al limitado contacto del suelo con el fertilizante y a reacciones químicas con el superfosfato que forman precipitados de manganeso-fosfato y desarrollan alta concentración de Hidrógeno en condiciones localizadas. Hossner y Richards (25) también encontraron que el sulfato de manganeso aplicado en banda con diferentes fuentes de fósforo eran efectivas en incrementar el fósforo y el manganeso en los tejidos de soya. El comportamiento de las fuentes de fósforo con sulfato de manganeso mezclado en cuanto a su efectividad fué, fosfato monoamónico > polifosfato > fosfato monocálcico > fosfato dicálcico.

Toth (61), realizó ensayos de campo e invernadero con el fin de estudiar el efecto de la glauconita sobre la aplicación y asimilación del sulfato de manganeso. Uso dosis de 0-50 y 100 lbs./Ha. en suelos franco arenosos, Este investigador no encontró relación entre el contenido de glauconita y el manganeso nativo o agregado. Por otra parte encontró que el manganeso fué efectivo para las plantas.

Fiskel y Mourkides (15), también compararon fuentes de manganeso con plantas de tomate en suelos orgánicos y arenosos y anotan que el sulfato de manganeso fué ligeramente más asimilable que el MnO_2 o MnEDTA y existe una relación inversa entre el hierro y manganeso tomado por el tomate.

Tisdale (59), estudió las relaciones entre las aplicaciones de azufre elemental y sulfato de manganeso en campo e invernadero con plantas de soya. El azufre bajó el pH e incrementó el contenido de manganeso de las plantas, el sulfato de manganeso fué efectivo como fertilizante.

Heitze (23) informa sobre la solubilidad de los complejos mangánicos-manganeso y observó que los ácidos carboxílicos e hidroxycarboxílicos como los pirofosfatos forman complejos con el MnO_2 , hausmanita e hidróxido de manganeso y estos compuestos tienen importancia en el mantenimiento del manganeso asimilable en los suelos. Jones y Leeper (28), indican que los óxidos de manganeso del tipo manganita, manganeso-mangánica y piro - lusita pueden corregir las deficiencias de manganeso en avenas y guisantes y su asimilación y solubilidad están en relación inversa con el tamaño de las partículas, la hausmanita es inasimilable aunque tenga tamaños muy pequeños.

Bernal (4), investigando sobre la respuesta de micronutrientos en un suelo negro del Oriente Antioqueño usando tres plantas indicadoras, obtuvo resultados que muestran que el frijol respondió a las aplicaciones de sulfato de manganeso en la primera cosecha, pero en la segunda disminuyó la respuesta, posiblemente por una oxidación del manganeso a mangánico, que sucede frecuentemente cuando se aumenta el pH, como cuando se encalan los suelos.

2.6 El Manganeso en las Plantas.

En una extensa revisión de literatura Benavides (3) reporta que Sheele en 1774 fué el primero que determinó el manganeso en las plantas y Bertrand llegó a la conclusión de que el manganeso es constituyente esencial de la lacaza, una enzima oxidante, pero fué McHarque, quien confirmó de modo concluyente, en el 1923, que el manganeso es esencial para fisiología de las plantas.

Morvet (42), especifica que el manganeso activa una gran cantidad de enzimas no especificadas, solamente en la manganesa está su intervención claramente definida.

Mulder y Guerretsen (43), revisando el papel del manganeso en las plantas y especialmente en su intervención en la fotosíntesis resumen que las deficiencias del elemento reducen el azúcar y almidones en las hojas, retardan el crecimiento, influye en la turgencia de las células, presencia alta de nitratos y reducen el volumen del sistema radicular. Las deficiencias de manganeso ocurren normalmente cuando la concentración en el tejido es menor de 20 ppm. en la mayoría de las plantas, aunque no es raro encontrar concentraciones de 20 a 500 ppm.; la toxicidad aparece probablemente cuando el valor es mayor de 500 ppm. en los tejidos. Las deficiencias se observan con frecuencia en suelos bien drenados y con pH neutro o alcalino; sin embargo en suelos arenosos o con contenidos altos de materia orgánica pueden existir deficiencias (41).

Labanuska (31) informa que el diagnóstico y control de las deficiencias de manganeso en plantas y suelos ha sido investigado en muchos trabajos, además reporta que en el frijol, las deficiencias se presentan en la mayoría de las plantas entre 32 y 68 ppm. en las hojas, en tallos entre 200-1.000 y la toxicidad desde 1.000-3.000 ppm., dependiente del tipo de planta de frijol.

Gupta et al. (20), determinando la influencia del manganeso

y pH en suelos ácidos turbosos sobre la composición de las hojas de zanahorias, verificó altos contenidos de hierro y manganeso a pH 4.4 a 5.7, contenidos intermedios entre pH 6.2 y 6.1, y bajos contenidos a pH 4 a 4.1, Price (47) reporta que las dosis de cal elevadas disminuyen la concentración de los elementos menores cobre, cobalto, zinc y manganeso en los tejidos de soya. Taper (59), estudiando la influencia del calcio sobre el manganeso e hierro en soluciones nutritivas con plantas frijol, reporta que la relación Fe/Mn fué determinante en la aparición de síntomas de deficiencias más que el contenido mínimo de cada metal en los tejidos.

Mass (35), en una investigación encontró que el calcio parece aumentar la absorción de manganeso pero el magnesio tiene un efecto depresivo y el calcio y magnesio juntos tienen un efecto más deprimente. El efecto mutuo del calcio y magnesio sobre la toma de manganeso por la soya son explicados por la hipótesis selectiva de la absorción de iones resultante de cationes que introducen cambios en la conformación de la estructura de la molécula transportadora de estos elementos.

Jackson et al. (27), realizaron un experimento para probar el efecto del cloro y cal en la toma del manganeso por frijol y maíz. Las adiciones de cloro como cloruro de potasio aplicados en banda incrementan

la cantidad de manganeso tomada por el frijol y maíz, pero la adición de cal elevó el pH 5 a 6.5 resultando un efecto deprimente en la toma del elemento. Se presentaron toxicidades en frijol cuando el contenido en base a peso seco estuvo entre 600 a 800 ppm. en las hojas.

Knezek y Greenert (30) usando sulfato de manganeso, quelato de EDTA de hierro y manganeso en varios niveles de los elementos y combinados en frijol como planta indicadora, encontraron una influencia en el crecimiento, contenido de Fe y Mn en las hojas y la relación Fe:Mn en suelos orgánicos deficiente en manganeso asimilable. El sulfato de manganeso incrementó más el rendimiento de materia seca que las otras fuentes solas o combinadas y correlacionó con el manganeso tomado por las plantas. Los quelatos de Mn o Fe combinados, solos o con sulfatos de manganeso aumentaron la relación Fe/Mn y no fueron efectivos en corregir la deficiencia. La ineficacia de los quelatos de manganeso para corregir deficiencias en estos suelos se debe a la sustitución del Mn por el Fe en la molécula del quelato y complejamiento del manganeso liberado con la materia orgánica.

Polson y Adams (46) investigando el efecto de varios niveles de hierro, cobre, zinc y manganeso encontraron interacciones en la toma de los elementos entre zinc e hierro, hierro y manganeso, zinc y manganeso,

y cobre.

Williams y Vlamis (65), encontraron efectos antagónicos entre las sales de potasio, calcio y magnesio y el manganeso tomado por plantas de lechuga, cebada y tomate, pero el efecto no es de la misma magnitud con iguales concentraciones en cada tipo de planta. Melton et al. (40), encontraron deficiencias de Zn con 20 ppm. en los suelos y toxicidad con 50 ppm. en plantas de frijol.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Definidos los objetivos y con la información de las diversas pruebas realizadas por el Programa de Suelos del ICA-Tibaitatá, se procedió a la realización de los siguientes ensayos en los horizontes Ap de cada serie de suelos.

3.1.1 Ensayo de Laboratorio.

Este experimento consistió en determinar el manganeso por cuatro métodos de las series Techo, Tibaitatá, Berneo y Cabrera en suelos de la Sabana de Bogotá, con el propósito de obtener información de los contenidos y variaciones del elemento entre series y métodos.

3.1.2 Ensayo de Invernadero.

El experimento se realizó con el fin de obtener resultados sobre el comportamiento del sulfato de manganeso en varios niveles con las series de suelos indicadas anteriormente, usando como planta indicadora el frijol (Phaseolus vulgaris) variedad Tundama.

3.1.3 Ensayo de Campo.

El experimento se planeó con el fin principal de obtener datos de la respuesta del frijol (Phaseolus vulgaris) variedad Tundama a las aplicaciones de sulfato de manganeso con cinco niveles, en un suelo de la serie Tibaitatá de la Sabana de Bogotá.

Estos ensayos se llevaron a cabo entre los meses de abril a diciembre de 1973.

3.2 Descripción de la Zona y Localización de los Suelos.

3.2.1 Los suelos estudiados están localizados en la zona plana de la cuenca alta del Río Bogotá que corresponden a la Sabana de Bogotá. La región está situada a 2.600 m.s.n.m., presenta topografía plana o ligeramente ondulada dominadas por acumulaciones lacustres con influencia volcánica y evolución compleja.

El clima de la región según Koeppen es del tipo Caw con algo Cf que corresponde respectivamente a un clima húmedo con período seco doble y a un clima húmedo con mayor precipitación. La temperatura promedio anual oscila entre 13 y 14°C. Esta misma región según la clasificación

bioclimática de Holdridge, incluye la mayor parte del área de la Sabana de Bogotá dentro del bosque seco montano bajo y el resto, en la formación bosque húmedo montano bajo. La precipitación promedio anual varía entre los 700 y 1.000 mm. y llega hasta 1.500 mm. en las montañas vecinas. En la actualidad son tierras de alto valor económico y se encuentran en su totalidad dedicadas a la agricultura y a la ganadería (16).

3.2.2 Serie Techo.

Se localiza sobre la planicie aluvial en lugares donde la precipitación promedio anual es de 900 mm. aproximadamente, relieve casi plano con pendientes menores del 8%. Los suelos son pobremente drenados y su uso está limitado a determinados cultivos debido a la presencia de un clay-pan dentro del perfil. En los primeros 30 cms. de profundidad la textura es franco arenosa a franco arcillosa, pH 5 a 5.5, estructura masiva y en algunos casos granular. El horizonte compacto clay-pan tiene estructura prismática bien desarrollada o impide la penetración de las raíces (26).

El horizonte compacto hoy está definido como un horizonte argílico, que clasifica estos suelos dentro del orden de los Alfisoles y la mayo-

ría posiblemente pertenecen al gran grupo Haplustalf*.

3.2.3 Serie Tibaitatá.

Se encuentra a una altitud aproximada de 2.600 m.s.n.m., relieve casi plano, pendientes inferiores al 2%, la reacción del suelo es moderadamente ácida, contenido medio de materia orgánica y bien drenado (26).

Los suelos están catalogados como inceptisoles*.

3.2.4 Serie Bermeo.

Esta serie ocupa la parte occidental de la Sabana de Bogotá situada en el abanico deltaico, con relieve ondulado y pendientes dominantes de 3 a 7% y 12 a 25%, se encuentre entre los municipios de Facatativa y Subachoque. Los suelos en el horizonte superior presentan texturas medianas a livianas, permeables, ricos en materia orgánica, en su mayoría con estructura granular bien desarrollada, reacción moderada a ligeramente ácida (19,

* Comunicación personal con el doctor Abdón Cortés (1973).

26).

En base a la clasificación americana estos suelos están ubicados a nivel subgrupo en los Distrandept típico (16).

3.2.5 Serie Cabrera.

Se encuentra localizada en una cadena de colinas al este de la Sabana de Bogotá, entre 2.700 y 3.100 m.s.n.m. Los suelos tienen un drenaje natural bueno, reacción fuertemente ácida, alto contenido de materia orgánica, bajos contenidos de bases intercambiables y baja saturación de bases. El suelo superficial tiene muchas características de suelos orgánicos (26). Están clasificados como Inceptisoles.

3.3 Recolección y Preparación de las Muestras de Suelos.

La experiencia del Programa Nacional de Suelos del ICA-Tibaitatá y la información obtenida a través de los mapas del levantamiento agrológico de la cuenca alta del Río Bogotá (26), sirvieron como base para la escogencia de los sitios que fueron objetos de este trabajo, de acuerdo a los tres ensayos planeados.

3.3.1 Ensayo de Laboratorio.

Con los sitios previamente establecidos en cada serie se tomó en el campo una muestra en el horizonte Ap a la profundidad 0-30 cms. en cantidad de 3 kg. por muestra. A cada serie le correspondieron cinco sitios para un total de 20 muestras. Estas muestras sirvieron para los análisis de caracterización y de manganeso.

3.3.2 Ensayo de Invernadero.

Para este ensayo se tomaron aproximadamente 100 kg. de los horizontes Ap a las profundidades de 0-30 cms. para cada serie y se trasladaron a las instalaciones del invernadero del Programa de Suelos del ICA, Tibaitatá, Mosquera.

3.3.3 Ensayo de Campo.

En suelos de la serie Tibaitatá del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias-Tibaitatá del ICA, en Mosquera, se utilizó un área de 600 m² para establecer este ensayo. Delimitado los bloques para el ensayo se procedió a tomar una muestra de suelos a la profundidad 0-20 cms. por cada bloque, para analizar el manganeso.

Las muestras de suelos recolectadas en la forma anteriormente indicada en el presente trabajo, fueron secadas al aire, tamizadas por un tamiz de 2 m m. y más tarde se tomaron cantidades adecuadas para los diferentes análisis y las pruebas biológicas que se realizaron en laboratorio, en el invernadero y en el campo del C.N.I.A.-Tibaitatá, Mosquera, con la asesoría del Programa de Suelos del ICA.

3.4 Métodos de Análisis de Suelos.

A los suelos originales procedentes de los sitios escogidos en cada serie se le hizo análisis químicos, siguiendo los métodos descritos por Marín (36).

3.4.1 pH por el método del potenciómetro de vidrio usando la relación suelo-agua 1:1 por volumen.

3.4.2 Carbón Orgánico.

Por el método de combustión húmeda, mediante la oxidación de la materia orgánica con dicromato potásico al calentarla espontáneamente con H_2SO_4 concentrado y titulando al exceso de dicromato con sulfato ferroso.

3.4.3 Bases Intercambiables.

Se desplazan del suelo con acetato de amonio normal y neutro, y luego el calcio y magnesio se determinaron por el método del verseno; el potasio y sodio por fotometría de llama.

3.4.4 Fósforo.

Por el método de Bray II que emplea como solución extractora una mezcla de NH_4F 0.03N y HCl 0.1N y el color azul se desarrolla con ácido cloromolibdico y cloruro estannoso.

3.4.5 Aluminio Intercambiable.

Desplazando el Al con una solución de cloruro de potasio 1N, no amortiguada y titulando con NaOH en presencia de fenolftaleína (29).

3.5 Métodos de Análisis de Manganeso en los Suelos.

Para determinar el contenido de manganeso en los cinco sitios de cada serie, en los potes usados en el experimento de invernadero y en el experimento de campo, se hicieron las determinaciones del elemento por los

métodos A, B, C y D, que se describen a continuación:

Método A: Método de Carolina del Norte. El manganeso se extrae del suelo con una solución 0.05N de HCl + 0.25 N de H_2SO_4 . Para este trabajo se tomaron 10 gramos de suelo, se le agregaron 40 ml. de la solución extractora, se agitaron mecánicamente durante cinco minutos y se filtró; en el filtrado se determinó el manganeso (42).

Método B: Determinación del manganeso intercambiable con nitrato de magnesio. El manganeso se extrae del suelo con una solución 1N de $Mg(NO_3)_2$. Para este trabajo se tomaron 20 gramos de suelo, se le adicionaron 50 ml. de la solución extractora, se agitaron mecánicamente durante 10 minutos y en el filtrado se determinó el manganeso intercambiable (12).

Método C. Manganeso de cambio con acetato de amonio normal y neutro. Una muestra de 5 gramos de suelos se le agregan 50 ml. de la solución extractora, se agitan durante 30 minutos, se dejan durante seis horas con agitación intermitente. Se filtra y el filtrado se determina el manganeso de cambio (3).

Método D: Manganeso soluble en H_2O . 5 gramos de suelo se le agregan 50 ml. de agua destilada y se agitan durante 30 minutos. La suspensión

suelo-agua se filtra, y en el filtrado se determina el manganeso soluble en agua (3).

Todas las muestras tratadas de acuerdo a los métodos descritos se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer modelo 303.

3.6 Procedimientos para los Ensayos.

3.6.1 Ensayo de Laboratorio.

Las muestras de las series Techo, Tibaitatá, Bermeo y Cabrera de los 20 sitios fueron sometidos a los análisis de manganeso descritos anteriormente. Estos análisis se realizaron por duplicado.

3.6.2 Ensayo de Invernadero.

Los suelos empleados en este trabajo, debidamente preparados se procedió a pesar 2 kg., los cuales se colocaron en macetas de eternit pintadas interiormente con pintura asfáltica, exteriormente con pintura de aluminio. De cada maceta se tomó una submuestra de suelo, para formar una muestra compuesta, donde se analizó el manganeso por los cuatro métodos descritos, esto para cada serie.

Para evaluar el comportamiento del sulfato de manganeso se montó un experimento con tres replicaciones y cinco tratamientos. El efecto se midió en base al rendimiento en gramos de materia seca/pote, contenido de manganeso, hierro, zinc y cobre en ppm. en la parte aérea y raíces del frijol variedad Tundama usada como planta indicadora.

Los niveles usados fueron de 0, 15, 30, 45 y 60 kg./Ha. de sulfato de manganeso del 23% de manganeso.

Los cuatro ensayos establecidos (uno por cada serie), se consideraron como un sólo experimento, resultando de la combinación de dosis por series. El número de potes de suelo por serie fué 15, para un total de 60 potes en las cuatro series.

Los suelos de las series Bermeo y Cabrera fueron tratados con un correctivo de tres partes de carbonato de calcio por una parte de carbonato de magnesio en dosis de 3000kg./Ha.; los suelos con el correctivo se mezclaron homogéneamente y se incubaron por 25 días en sus respectivas macetas antes de la siembra, con una humedad aproximada a 2/3 de la capacidad de campo utilizando agua destilada y desionizada. Después de este tiempo para los suelos de las cuatro series se aplicaron las dosis de sulfato de manganeso y fertilizante.

La fertilización basal para los suelos de las series Bermeo y Cabrera fué de 100-300-100 kg./Ha. de N, P_2O_5 y K_2O respectivamente. Para los suelos de las series Techo y Tibaitatá fue 30-50-30 kg./Ha. de N, P_2O_5 y K_2O respectivamente.

Se sembraron cinco semillas de frijol por maceta para finalmente dejar tres plantas por pote y durante el ensayo se regó convenientemente con agua desmineralizada. 42 días después de la siembra se cosechó la parte aérea, se secó en una estufa a $70^{\circ}C$, por 48 horas, se determinó el peso y se tomaron muestras para análisis foliar, las raíces también se prepararon para análisis foliar.

3.6.3 Ensayo de Campo.

La respuesta del frijol variedad Tundama a las aplicaciones del sulfato de manganeso del 23% en dosis 0-15-30-45 y 60 kg./Ha. del fertilizante, se evaluó por el rendimiento en kg./Ha. y contenido de manganeso, hierro, cobre y zinc en los granos de frijol y hojas. Este experimento se realizó en un suelo de la serie Tibaitatá del C.N.I.A.-Tibaitatá y se planeó con cuatro repeticiones y cinco tratamientos de sulfato de manganeso. El frijol se sembró a una distancia de 0.72 m. entre surcos y 0.10 m. entre plantas, cada parce-

la tenía una longitud de 10 m. y un ancho de 2.9 m., el ensayo presentó un total de 20 parcelas.

Las aplicaciones de 30, 90, 30 kg./Ha de N, P_2O_5 y K_2O y las cantidades de sulfato de manganeso correspondiente a cada dosis se hicieron localizadas en banda, al lado y debajo de la semilla junto con la siembra.

A los 60 días después de siembra se tomaron muestras foliares de la cuarta hoja en cada tratamiento para analizar los elementos manganeso, hierro, cobre y zinc.

Cumplido el ciclo vegetativo del frijol se cosechó, se tomó el rendimiento de cada tratamiento en kg./Ha. con una humedad del 18% y se tomaron muestras de grano en cada tratamiento para determinar los elementos manganeso, hierro, cobre y zinc.

3.7 Análisis Foliar de los Tejidos Vegetales.

Las muestras fueron recogidas y tratadas de acuerdo a las recomendaciones técnicas seguidas en el Laboratorio de Suelos del C.N.I.A. - Tibaitatá para su posterior análisis, según Lora (32).

Las muestras preparadas se sometieron a una digestión húmeda y en el extracto se determinaron los elementos manganeso, hierro, cobre y zinc en un espectrofotómetro Perkin-Elmer modelo 303 (33).

3.8 Métodos Estadístico.

Para el ensayo de laboratorio se usó un diseño completamente al azar arreglado en un factorial de 4×4 . Se realizaron los análisis de varianza y la prueba de Tuckey para el grado de significancia.

En el ensayo de invernadero para los rendimientos de materia seca en g./pote y contenido de manganeso en la parte aérea del frijol, se utilizó un diseño completamente al azar en un arreglo factorial de 4×5 ; se hicieron los respectivos análisis de varianza y la prueba de Tuckey.

En el ensayo de campo se utilizó un diseño de bloques al azar para ver la variación del manganeso determinado por los cuatro métodos en cada replicación, el rendimiento en kg./Ha., el contenido de manganeso en el grano y en la cuarta hoja a los 60 días después de siembra y sus respectivos análisis de varianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización de los Suelos.

En la Tabla 1 se incluyen los resultados promedios de los análisis de caracterización para las 20 muestras de suelos en las cuatro series seleccionadas para este estudio.

De acuerdo con estos resultados los suelos de la serie Techo, tienen una textura pesada, el pH es ligeramente ácido, bajo contenido de materia orgánica, aluminio intercambiable bajo, fósforo asimilable alto, contenido de bases intercambiables regular, relación Ca/Mg aceptable para la mayoría de los cultivos y en general un estado de fertilidad adecuado, pero con problemas de drenaje (26).

Los suelos de la serie Tibaitatá pertenecen a una familia textural media, el pH es ligeramente ácido y no tienen problemas con aluminio, contenido de materia orgánica medio, el fósforo asimilable es variable y suelos bien drenados con una fertilidad buena. La relación Ca/Mg y el contenido bases son buenos, es posible que nuevos estudios revelen la existencia de otros grupos de suelos dentro de esta serie.

Los suelos de la serie Bermeo presentan texturas medias, alto con-

TABLA 1. Características físicas y químicas de cuatro series de suelo de la Sabana de Bogotá.

| Tipo de análisis | Series de Suelos | | | |
|--------------------|------------------|----------------|--------|----------------|
| | Techo | Tibaitatá | Bermeo | Cabrera |
| pH | 6,10 | 5,94 | 5,60 | 5,80 |
| % M.O | 4,30 | 13,00 | 29,16 | 18,36 |
| P (ppm.) Bray li | 19,90 | 23,56 | 9,34 | 23,48 |
| AL meg/100 gramos | 0,10 | 0,22 | 0,52 | 0,86 |
| Ca meg/100 gramos | 6,00 | 9,60 | 4,56 | 4,08 |
| Mg meg/100 gramos | 2,12 | 3,40 | 0,92 | 0,80 |
| K meg/100 gramos | 0,26 | 1,09 | 0,52 | 0,76 |
| Na meg/100 gramos | 0,24 | 0,42 | 0,04 | 0,05 |
| CIC meg/100 gramos | 8,72 | 14,75 | 6,41 | 6,55 |
| Textura | Arcilloso | Franco arenoso | Franco | Franco arenoso |

tenido de materia orgánica, pH ácido, alta capacidad de intercambio catiónico y baja saturación de bases. La relación Ca/Mg en general muy amplia, agravado el problema por prácticas de enclamiento de los horizontes superiores y fósforo bajo. Desde el punto de vista de su fertilidad tienen problemas con fósforo y probablemente con otros nutrientes para las plantas (16, 19).

Los suelos de la serie Cabrera tienen textura media a liviana, alto contenido de materia orgánica, ácidos, contenido de fósforo bajo a alto y bajo contenido de bases.

Los suelos en relación a sus características más sobresalientes se pueden dividir en suelos con altos contenidos de materia orgánica, de colores oscuros a negros, ácidos y texturas medias con algunas características parecidas a los de los suelos orgánicos. El otro grupo de suelos presenta bajos contenidos de materia orgánica, colores más claros, ligeramente ácidos, aceptable saturación de bases y con presencia muy marcada de características de suelos minerales. Entre los primeros nombrados se catalogan los suelos de las series Bermeo y Cabrera y entre los segundos los suelos de las series Techo y Tibaitatá.

Los estudios edafológicos y geológicos de la Sabana de Bogotá han indicado la influencia de materiales volcánicos en todos sus suelos, pero su distribución y magnitud de intervención en cada serie de suelos no está bien determinada. En los suelos de la serie Bermeo predominan en la fracción arcilla, materiales amorfos del tipo alófana que imprime condiciones especiales a estos suelos, entre estas condiciones sobresale la alta capacidad de fijación de fósforo (16).

4.2 Ensayo de Laboratorio.

Los contenidos de manganeso total no fueron determinados en este trabajo. Se mencionan los obtenidos por otros investigadores para indicar que los datos de manganeso total incluyen estos suelos dentro de los rangos considerados como normales (60, 14). Para las series Techo, Bermeo y Cabrera el manganeso total reportado es de 239.91, 426.74 y 247.28 ppm. (3), Gómez et al. (19), informan que para la serie Bermeo el contenido de manganeso es de 615 a 515 ppm. a una profundidad del suelo de 0-30 cm.

En la Tabla 2 están consignados los datos de manganeso en ppm. de las cinco muestras de cada serie por los métodos de Carolina del Norte (A), manganeso intercambiable con nitrato de magnesio 1N (B), manganeso

TABLA 2. Contenido de manganeso (ppm. de Mn) en suelos de cuatro series de la Sabana de Bogotá.

| Series | Sitios | Métodos | | | |
|-----------|--------|---------|------|------|-----|
| | | A | B | C | D |
| Techo | 1 | 39,4 | 24,8 | 32,4 | 1,1 |
| | 2 | 31,2 | 22,1 | 19,8 | 1,2 |
| | 3 | 25,8 | 21,9 | 24,0 | 0,9 |
| | 4 | 27,3 | 23,8 | 12,1 | 0,1 |
| | 5 | 12,2 | 8,3 | 10,0 | 1,5 |
| Tibaitatá | 1 | 12,2 | 16,0 | 14,8 | 1,0 |
| | 2 | 15,7 | 9,6 | 7,9 | 1,1 |
| | 3 | 23,9 | 23,7 | 21,9 | 2,1 |
| | 4 | 12,5 | 13,4 | 14,5 | 0,5 |
| | 5 | 9,7 | 6,4 | 8,2 | 0,9 |
| Bermeo | 1 | 5,9 | 6,9 | 5,6 | 0,1 |
| | 2 | 11,4 | 7,4 | 7,0 | 0,1 |
| | 3 | 2,2 | 1,9 | 1,3 | 0,1 |
| | 4 | 4,2 | 3,6 | 3,6 | 0,1 |
| | 5 | 9,2 | 6,9 | 8,5 | 0,2 |
| Cabrera | 1 | 3,3 | 2,5 | 1,6 | 0,1 |
| | 2 | 4,8 | 2,6 | 3,4 | 0,3 |
| | 3 | 3,7 | 2,7 | 3,1 | 0,1 |
| | 4 | 12,0 | 10,0 | 6,8 | 0,2 |
| | 5 | 3,6 | 2,2 | 2,6 | 0,1 |

D.M.S. al 0.01 para medias series, métodos y la interacción series por métodos.

de cambio por acetato de amonio normal y neutro (C) y el manganeso soluble en H₂O (D). En la Figura 1, se encuentran los promedios para cada método y serie.

De acuerdo a estos resultados se observa que el método A en todas las series extrajo mayor cantidad de manganeso que los otros métodos y el orden de extracción en sentido decreciente es el siguiente:

Método A > Método B > Método C > Método D

El manganeso extraído por los métodos A, B y C es prácticamente el manganeso intercambiable, presentó sus contenidos más altos en la serie Tibaitatá y mínimos contenidos en la serie Cabrera. El manganeso conseguido por el método D fué el menor en todas las series, pero sus resultados entre si fueron los menos variables y más consistentes, las series Bermeo y Cabrera presentaron menor contenido que las series Techo y Tibaitatá.

En las Tablas 1, 2, 3 y 4 del Apéndice se muestran los análisis de estadísticas y de varianza del contenido de manganeso determinado por los cuatro métodos en las cuatro series de suelos.

Los análisis estadísticos revelan que hay diferencias altamente sig-

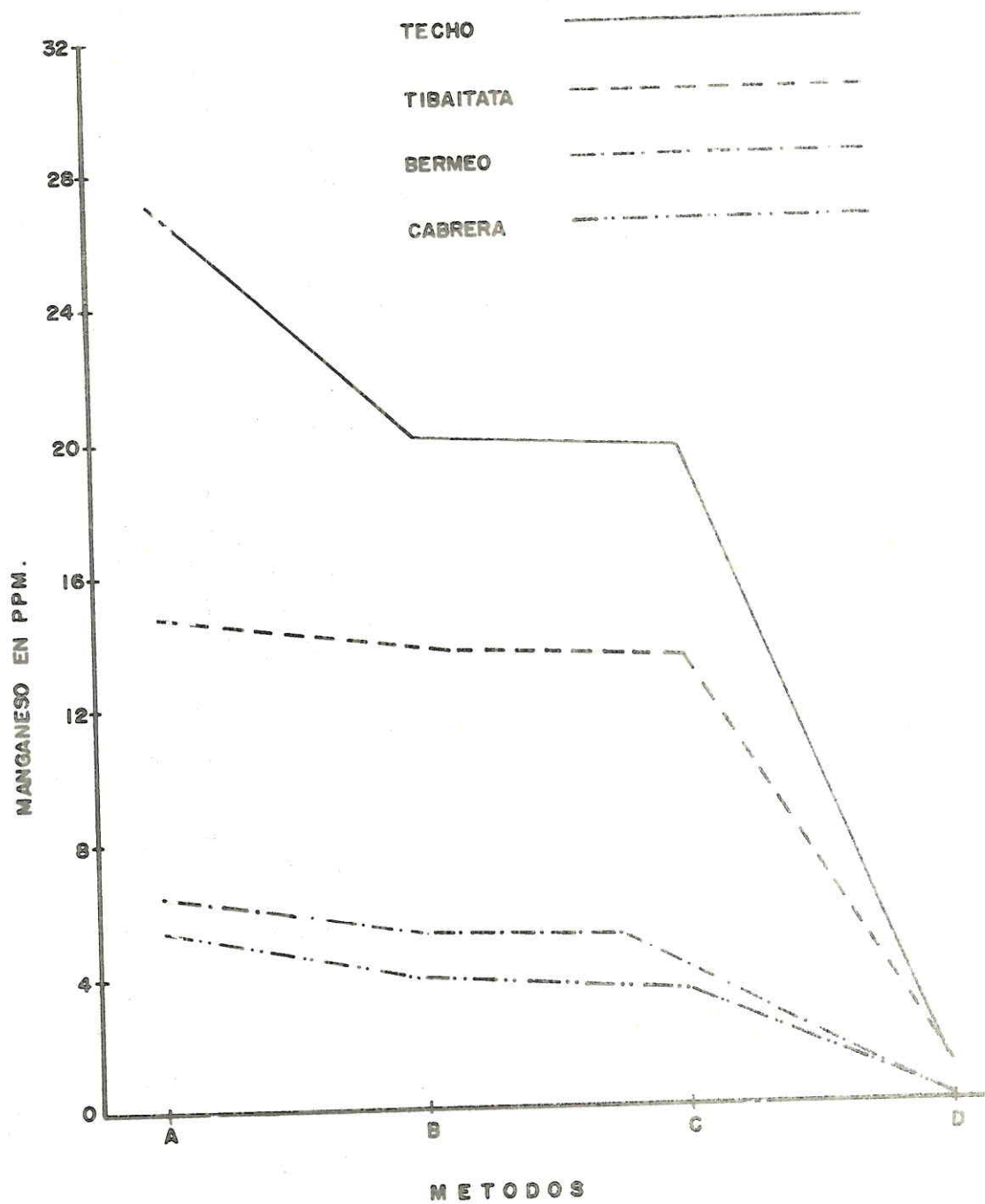


FIGURA I CON TENDOS PROMEDIOS DE MANGANESO DE LAS CUATRO SERIES DE SUELOS POR LOS METODO A.B.C Y D.

nificativa (1%) en los contenidos de manganeso de las diferentes series, en las extracciones del elemento por los diferentes métodos y en la interacción de las series por métodos, originadas por el comportamiento de los métodos en las distintas series.

En términos generales los suelos estudiados respecto a su contenido de manganeso determinado por los métodos A, B, C y D se pueden dividir en dos grupos que presentan características distintas. Los suelos con contenidos similares de las series Techo y Tibaitatá y los suelos con características muy diferentes a los anteriores suelos, con contenidos marcadamente distintos de manganeso que corresponden a los suelos de las series Bermeo y Cabrera. Teniendo presente la génesis de los suelos debido a los factores y procesos pedogenéticos, especialmente el material parental y la acumulación de materia orgánica, en estos suelos necesariamente las distintas formas de manganeso se expresan en formas diferentes delante de los distintos métodos para valorarlas, especialmente las formas solubles e intercambiables del elemento. Además, investigaciones realizadas reportan que los contenidos de manganeso de los suelos, especialmente las formas simples, están en relación con una diversidad de parámetros, tales como materia orgánica del suelo, actividad microbial, pH, contenidos de bases intercambiables, % de arcilla y manejo del suelo (49, 44, 45, 56).

Al incrementar el contenido de materia orgánica de estos suelos el manganeso determinado por los métodos A, B, C y D disminuyó, lo cual indica un efecto deprimente en el contenido de manganeso asimilable para las plantas, esto se debe a la formación de complejos orgánicos estables, posiblemente del tipo quelato. Los radicales del humus, principalmente los grupos carboxilos y fenólicos reaccionan con el Mn^{++} para complejarlo y no dejarlo arrastrar por la solución extrante. También se debe mencionar la actividad microbiológica para formar complejos con el manganeso.

Benavides (3) estudiando distintas formas de manganeso en estos suelos también informa del efecto deprimente de la materia orgánica. Los resultados del manganeso de cambio y soluble son similares a los de este trabajo. Esta intervención de la materia orgánica sobre el manganeso de los suelos no está bien definida pero existen trabajos sobre la actividad de los microorganismos, reacción de los ácidos fúlvicos y formación de complejos estables que pueden ser similares en estos suelos (43, 18, 52, 22, 9, 23). Al comparar los efectos del humus y la arcilla en relación al manganeso intercambiable y soluble en agua, los análisis de los suelos estudiados muestran un efecto contrario entre los dos coloides. Los suelos de las series Techo son más pesados que los suelos de la serie Tibaitatá y tienen mayor contenido de manganeso, los suelos de la serie Bermeo son más pesados que los suelos de

la serie Cabrera y esta última también tiene un menor contenido de manganeso. Esto se debe particularmente a la capacidad de la arcilla para retener manganeso en forma Mn^{++} y ser más fácil desplazable por los extractantes de las soluciones que el retenido por los coloides orgánicos. Mulder et al. Guerretsen (43), informan algo parecido cuando indican que los suelos con contenidos similares de manganeso asimilable y valores de pH, tienden a producir deficiencias cuando tienen mayor contenido de materia orgánica. Browman et al. (6) también encontraron una relación directa entre el contenido de arcilla y el manganeso intercambiable extraído con $Mg(NO_3)_2$ 1N, los resultados encontrados en esta investigación, son similares a los de Browman y sus colaboradores.

El pH en las distintas muestras de suelos varió de 6.1 a 5.6 y debido a esta poca variación no se presentó una tendencia definida entre los valores de pH y los contenidos de manganeso de estos suelos. Es posible que para posteriores estudios sea conveniente dividir estos suelos, porque no es lo mismo un suelo ácido con bajo contenido de materia orgánica y un suelo ácido con alto contenido de materia orgánica, que le da una alta capacidad amortiguadora (35, 41, 57, 34).

La característica fundamental de los métodos A, B y C es su ca-

pacidad de extraer el Mn^{++} que se encuentra en forma intercambiable en la fracción coloidal del suelo y el método D, la de medir el manganeso en la solución del suelo.

Las soluciones extractantes de estos métodos varían en cuanto a la concentración del extractante, pH de la solución y catión o ión que actúa como desplazante del Mn^{++} . Las relaciones de las suspensiones extractante/suelo y el tiempo de agitación para establecer el equilibrio también inducen variación entre los métodos. Para los métodos usados las relaciones empleadas fueron de 4, 25, 10, y 10 y los tiempos de agitación de 5, 10, 30 y 30 minutos para los métodos A, B, C y D respectivamente.

Viet (62), menciona que los elementos menores están presentes en el complejo suelo con diferentes gradientes de adsorción, forma del elemento y contenidos, especialmente en lo correspondiente a la parte asimilable para las plantas. En el presente trabajo de acuerdo a este autor se miden el manganeso soluble en agua, el intercambiable y parte del manganeso que está en forma de quelatos.

Cuando se someten las muestras de suelos a las soluciones extractante o agua, en el sistema suelo se rompe el equilibrio y los cationes de las diferentes soluciones comienzan a intercambiarse con los cationes del com-

plejo suelo, de acuerdo a la habilidad específica de cada ión para reemplazar el elemento; luego se establece el equilibrio dinámico entre la solución y el catión desplazante.

La capacidad de desplazamiento del catión está en relación inversa con el diámetro del catión y la hidratación del catión, pero en forma directa con la valencia del catión (2, 14).

En las soluciones extractantes de los métodos usados en el presente estudio los cationes desplazantes del manganeso, son hidrógeno, magnesio, amonio y agua para los métodos A, B, C y D, respectivamente.

Los conceptos anteriores nos explican en parte porque el método A extrajo más manganeso de las mismas muestras de suelos que los métodos B, C y D.

El mismo método A actúa como una solución ácida diluída que puede cambiar el pH del sistema suelo/extractante y a mayor acidez el manganeso es más soluble y lo mismo puede suceder con los potenciales de óxido-reducción.

El valor del pH es uno de los parámetros que se tienen presentes en la interpretación de las pruebas de manganeso en los suelos por inter-

venir en la presencia de las distintas formas de manganeso y ha sido investigado en muchos trabajos, en la mayoría de ellos existe una relación inversa entre el Mn y el pH, este caso también se pudo presentar en estos suelos y el método A pudo extraer más manganeso del suelo. También las determinaciones de manganeso son soluciones ácidas tienden a dar mayor contenido de manganeso en los mismos suelos que las soluciones neutras o algo alcalinas (39, 43, 10, 6, 11, 24, 21).

Es muy importante para la variación del pH del suelo en el sistema extractante/suelo el poder amortiguador de los suelos que nos definen en sí las condiciones de cambio. Boken (5) encontró que la solución de nitrato de magnesio tiene poco efecto dentro de aquellos suelos que tienen alta capacidad buffer, el caso de los suelos Bermeo y Cabrera.

En el caso del método B y C se puede deber a la mayor valencia del catión magnesio que se transforma en una mayor capacidad de extracción de manganeso que cuando se usa el amonio y también las características propias de los compuestos químicos, el nitrato de magnesio es mineral y el acetato de amonio es orgánico. También es posible una influencia del anión acompañante nitrato y acetato (3, 14, 42).

El método D es agente extractante el agua destilada y solamente

se extrae el manganeso de la solución del suelo y que está en equilibrio con el intercambiable; en la literatura revisada está de acuerdo con los datos de este trabajo en relación a que siempre es menor que las otras formas de manganeso (13, 44, 24).

Los contenidos en ppm. máximos y mínimos de manganeso para estos suelos de cada serie por los métodos A, B, C y D respectivamente, fueron para la serie Techo 39,4 y 12,2, 24,8 y 8,3, 32,4 y 10, 1,1 y 0,1 para la serie Tibaitatá 23,9 y 9,7, 23,7 y 6,4, 21,9 y 7,9, 1,0 y 0,5; para la serie Bermeo 11,4 y 4,2, 7,4 y 3,6, 10,0 y 2,2, 6,8, 0,3 y 0,1. Estos contenidos son similares a los reportados por otros trabajos (48, 63, 13, 51, 8).

De acuerdo a esta evaluación es posible encontrar problemas con manganeso en algunos suelos de la serie Bermeo y Cabrera (5, 12, 11, 21), pero esto debe someterse a un estudio más riguroso debido a que los cultivos y manejos que se implantan en estos suelos son diferentes a otras áreas de cultivos.

De acuerdo a los resultados de los análisis estadísticos y su prueba respectiva, el método A se comportó en forma diferente en las series Cabrera y Techo para valorar el manganeso, por lo que para una investigación pos-

terior sobre métodos en estas series de suelos, se debe escoger el método A.

4.3 Ensayo de Invernadero.

En la Tabla 3, se muestran los contenidos de manganeso en ppm. de las muestras formadas por las submuestras de cada pote y serie. Estos resultados nos confirman una vez más que los suelos con mayor contenido de materia orgánica tienen menor cantidad de manganeso intercambiable o soluble en agua que los suelos de menor contenido de materia orgánica.

La Tabla 4, muestra los rendimientos de materia seca en g/pote del frijol variedad Tundama con las diferentes dosis de sulfato de manganeso del 23%. En la Figura 2 están graficados los promedios de estos rendimientos para cada serie y dosis de sulfato de manganeso.

Los rendimientos en términos generales se presentaron más altos en la serie Techo, similares en las series Bermeo y Tibaitatá y menores en la serie Cabrera con las mismas dosis de sulfato de manganeso, en kg./Ha.

En el suelo de la serie Techo las aplicaciones de las diferentes dosis de sulfato de manganeso en kg./Ha. presentaron un efecto deprimente en los rendimientos con relación al testigo, lo cual puede estar en relación

TABLA 3. Contenido promedio de manganeso (ppm. de Mn) en suelos de cuatro series de la Sabana de Bogotá

| Series | Métodos | | | |
|-----------|---------|-------|-------|------|
| | A | B | C | D |
| Techo | 38,98 | 25,76 | 29,74 | 0,94 |
| Tibaítatá | 12,48 | 12,56 | 14,02 | 0,39 |
| Bermeo | 6,64 | 5,61 | 5,55 | 0,18 |
| Cabrera | 3,74 | 2,62 | 3,2 | 0,14 |

Promedio de cinco extracciones de manganeso por método.

TABLA 4. Rendimiento de materia seca (g./pote) del frijol var. Tundama, obtenidos en invernadero con diferentes dosis de sulfato de manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá.

| Serie | Tratamientos Sulf. Mn. en kg./Ha | Replicaciones | | | Promedio* |
|-----------|--|---------------|------|------|-----------|
| | | I | II | III | |
| Techo | 0 | 7,20 | 8,90 | 7,10 | 7,73 |
| | 15 | 8,50 | 6,90 | 6,60 | 7,33 |
| | 30 | 6,30 | 6,20 | 6,10 | 6,20 |
| | 45 | 7,80 | 7,10 | 6,80 | 7,23 |
| | 60 | 7,20 | 7,00 | 7,70 | 7,30 |
| Tibaitatá | 0 | 5,20 | 5,60 | 5,20 | 5,33 |
| | 15 | 5,70 | 5,80 | 5,10 | 5,53 |
| | 30 | 4,90 | 4,90 | 4,60 | 4,80 |
| | 45 | 4,50 | 5,40 | 4,90 | 4,93 |
| | 60 | 5,10 | 4,20 | 6,30 | 5,20 |
| Bermeo | 0 | 5,70 | 6,30 | 4,40 | 5,46 |
| | 15 | 4,70 | 5,20 | 4,70 | 4,86 |
| | 30 | 5,10 | 5,40 | 5,60 | 5,36 |
| | 45 | 5,00 | 4,10 | 4,50 | 4,53 |
| | 60 | 4,80 | 4,50 | 4,20 | 4,50 |
| Cabrera | 0 | 4,50 | 3,10 | 3,90 | 3,83 |
| | 15 | 4,00 | 4,10 | 3,60 | 3,90 |
| | 30 | 3,30 | 4,20 | 3,90 | 3,80 |
| | 45 | 3,50 | 3,80 | 4,50 | 3,93 |
| | 60 | 3,40 | 3,70 | 4,00 | 3,70 |

* D.M.S al 0.01 entre medias de series.

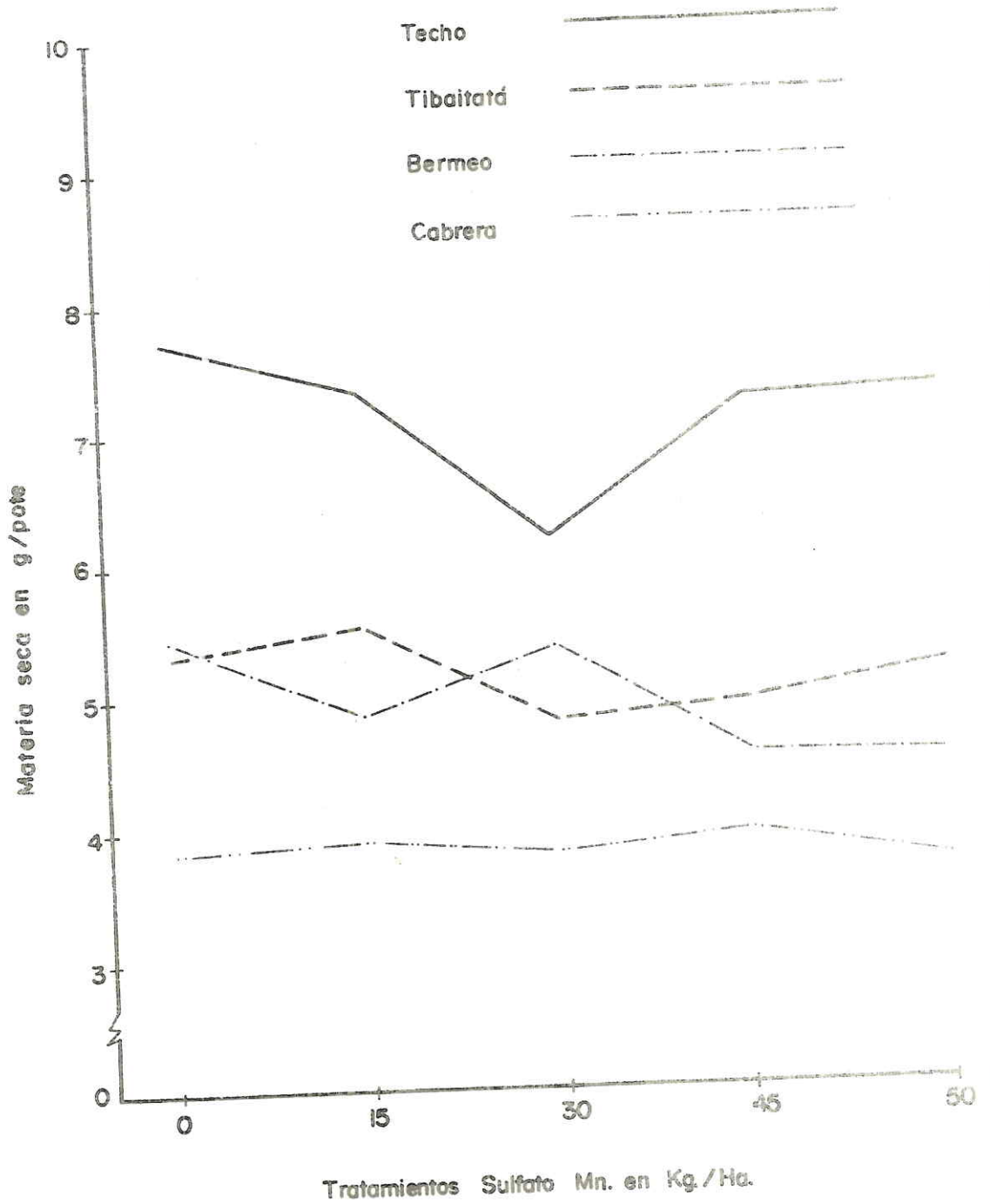


Figura 2. Rendimientos de materia seca en g/pote del Frijol var. Tundama obtenidos en invernadero con diferentes dosis de Sulfato de Manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá.

con un desequilibrio en los nutrimentos del suelo que causan las aplicaciones de manganeso y por otra parte los análisis de manganeso por los métodos A, B, C reflejan que estos suelos no necesitan aplicaciones de manganeso (12, 11, 24, 48).

En la serie Bermeo también las aplicaciones de manganeso resultaron en un efecto deprimente en los rendimientos, lo cual se puede deber a que estos suelos fueron encalados y el manganeso aplicado puede reaccionar con el complejo coloidal del suelo y pasar a una forma no asimilable por las plantas de frijol. El encalamiento según muchos investigadores tiene un efecto deprimente en la solubilidad del manganeso aplicado o nativo del suelo (39, 57, 1, 17, 64, 47, 50). El mismo efecto pudo observarse en el suelo de la serie Cabrera pero menos variable y acentuado, exceptuando las dosis de 45 y 60 kg./Ha. de Sulfato de Manganeso que presentaron un ligero aumento sobre el testigo; en el suelo de la serie Tibaitatá la mejor dosis fué de 15 kg./Ha. de Sulfato de Manganeso.

En las Tablas 5 y 6 del Apéndice se indican los análisis de varianza y las pruebas respectivas para los rendimientos en g./pote de materia seca del frijol variedad Tundama. No hubo diferencia significativa entre los tratamientos para una misma serie, pero si se presentó diferencia altamente

significativa (1%) en las aplicaciones de sulfato de manganeso entre los rendimientos de los suelos de las distintas series, esto indica que las mismas dosis de Sulfato de Manganeso del 23% se comportan en forma distinta para cada suelo en su serie, debido a la condición reflejada en las características propias de cada suelo que se traducen en aprovechabilidad de manganeso y rendimientos en las plantas de frijol.

Al informar que estos suelos fueron regados, encalados y fertilizados, es posible que se produzcan una diversidad de reacciones que transforman el Mn^{++} a otras formas más insolubles de manganeso, como lo indican varios trabajos (3, 10, 12, 20, 43), lo cual puede ser índice de la no respuesta de estos suelos a las aplicaciones de Sulfato de Manganeso, principalmente en los suelos Bermeo y Cabrera, o también que las dosis fueron muy bajas y a mayores dosis es posible encontrar una respuesta.

Aunque el manganeso soluble en agua es bajo, menos de 3 ppm., Benavides (3), hace mención a que en los suelos de la serie Cabrera y Bermeo es conveniente hacer aplicaciones de manganeso para obtener mejores rendimientos, el experimento de estos suelos en invernadero no mostraron esa respuesta, lo cual se puede deber posiblemente a que los suelos son capaces de suministrar manganeso a medida que las plantas lo utilizan o que la variedad de frijol utilizado necesita sólo pequeñas cantidades de manganeso dis-

ponible.

En la Tabla 5 se muestran los contenidos de manganeso en ppm. en la parte aérea del frijol variedad Tundama con diferentes dosis de sulfato de manganeso y en la Figura 3 los promedios de manganeso según las dosis de sulfato de manganeso para la parte aérea del frijol.

En términos generales al aumentar el contenido de manganeso aplicado al suelo aumentó su concentración en los tejidos aéreos, con excepción de las dosis de 60 y 45 kg./Ha. en el suelo de la serie Bermeo y 60 kg./Ha. de Sulfato de Manganeso en la serie Techo, estos incrementos no están de acuerdo con los rendimientos de materia seca en g./pote de frijol.

Los contenidos de manganeso en la parte aérea están dentro de lo normal y las variaciones respecto a los datos suministrados en la revisión de literatura se deben a que cada planta tiene una necesidad específica de cada nutrimento de acuerdo a su género y especie. Labanuska (31), indica que las deficiencias de manganeso en frijol se presentan en la mayoría de los casos cuando el contenido en las hojas está entre 32 y 68 ppm. de manganeso. Jackson et al. (27) informan que las toxicidades del elemento en base a peso seco está entre 600 a 800 ppm. Esto está de acuerdo con lo observado durante el tiempo que duró el experimento de invernadero debido a que

TABLA 5. Contenido de manganeso (ppm. de Mn) en la parte aérea del frijol var. Tundama obtenidos en un invernadero con diferentes dosis de sulfato de manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá.

| Serie | Tratamientos Sulf.Mn. en kg./Ha. | Replicaciones | | | Promedio* |
|-----------|--|---------------|-----|-----|-----------|
| | | I | II | III | |
| Techo | 0 | 115 | 103 | 95 | 104,33 |
| | 15 | 104 | 92 | 132 | 109,33 |
| | 30 | 107 | 103 | 110 | 106,33 |
| | 45 | 112 | 102 | 124 | 112,66 |
| | 60 | 103 | 98 | 93 | 98,00 |
| Tibaitatá | 0 | 48 | 54 | 55 | 52,33 |
| | 15 | 58 | 58 | 54 | 56,66 |
| | 30 | 55 | 52 | 58 | 55,00 |
| | 45 | 57 | 52 | 53 | 54,00 |
| | 60 | 58 | 65 | 74 | 65,66 |
| Bermeo | 0 | 107 | 123 | 100 | 110,00 |
| | 15 | 130 | 105 | 125 | 120,00 |
| | 30 | 150 | 175 | 169 | 164,66 |
| | 45 | 135 | 82 | 85 | 100,66 |
| | 60 | 76 | 101 | 80 | 85,66 |
| Cabrera | 0 | 63 | 90 | 90 | 81,00 |
| | 15 | 73 | 115 | 85 | 91,00 |
| | 30 | 104 | 82 | 113 | 99,66 |
| | 45 | 131 | 90 | 95 | 105,33 |
| | 60 | 104 | 120 | 85 | 103,00 |

* Diferencia estadísticamente significativa al 00.1 entre tratamientos de series diferentes.

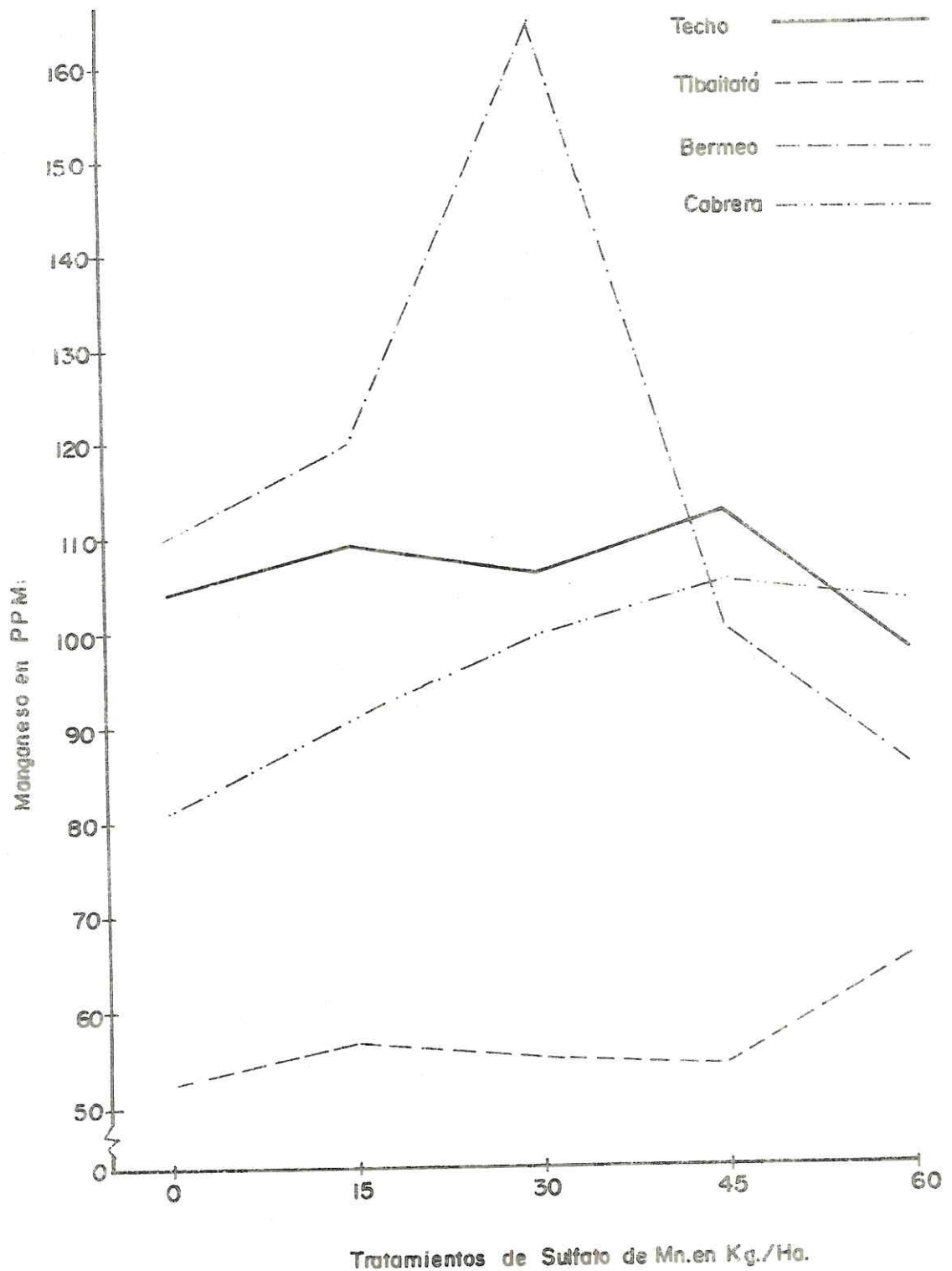


Figura 3. Contenidos de Manganeso en la parte aérea del Frijol var. Tundama Obtenidos en invernadero con diferentes dosis de Sulfato de Manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá.

no se notaron síntomas de deficiencia o toxicidad del elemento en las plantas de frijol.

El análisis de varianza y la prueba estadística pueden observarse en las Tablas 7 y 8 del Apéndice. Hubo diferencias altamente significativas (1%) para las series en relación con las dosis de Sulfato de Manganeso en kg./Ha. en los suelos estudiados para los contenidos de manganeso en la parte área. La prueba de Tuckey refleja que el comportamiento del Sulfato de Manganeso aplicado al suelo fué diferente para la serie Tibaitatá en relación a los suelos de la serie Bermeo, Cabrera y Techo, y no tuvo la misma efectividad en absorción por las plantas, posiblemente a fijación del Mn aplicado al suelo.

Aparentemente no se nota el efecto adverso del encalamiento en la forma de manganeso tomado por el frijol en los suelos Bermeo y Cabrera, posiblemente debido al contenido de materia orgánica de estos suelos y su alta capacidad buffer; presentándose algo distinto en este estudio a lo enunciado en otros trabajos (20, 35).

Las Tablas 6 y 7, muestran los contenidos de hierro, manganeso, zinc y cobre en ppm. en los tejidos de aéreos y raíces del frijol variedad Tundama. De acuerdo a estos resultados el orden de concentración en las

TABLA 6. Contenido promedio de hierro, manganeso, zinc y cobre (ppm. de Fe, Mn, Zn y Cu) en la parte aérea del frijol var. Tundama obtenidos en invernadero con diferentes dosis de sulfato de manganeso en cuatro series de suelo de la Sabana de Bogotá.*

| Serie | Tratamiento Sulf. Mn. en kg./Ha. | Elementos en ppm. | | | |
|-----------|----------------------------------|-------------------|--------|-------|-------|
| | | Fe | Mn | Zn | Cu |
| Techo | 0 | 173,33 | 104,33 | 20,66 | 15,00 |
| | 15 | 171,66 | 109,33 | 15,66 | 16,00 |
| | 30 | 165,00 | 106,33 | 17,00 | 15,33 |
| | 45 | 233,33 | 112,66 | 24,66 | 15,33 |
| | 60 | 180,66 | 98,00 | 21,33 | 14,66 |
| Tibaitatá | 0 | 203,33 | 52,33 | 25,33 | 16,33 |
| | 15 | 220,00 | 56,66 | 23,33 | 14,66 |
| | 30 | 190,00 | 55,00 | 27,33 | 12,00 |
| | 45 | 190,00 | 54,00 | 25,00 | 13,66 |
| | 60 | 165,00 | 65,66 | 31,00 | 12,00 |
| Bermeo | 0 | 143,33 | 110,00 | 31,00 | 14,66 |
| | 15 | 135,00 | 120,00 | 29,33 | 13,00 |
| | 30 | 131,66 | 164,66 | 24,66 | 12,66 |
| | 45 | 146,66 | 100,66 | 24,33 | 12,00 |
| | 60 | 173,33 | 85,66 | 24,33 | 14,66 |
| Cabrera | 0 | 153,33 | 81,00 | 30,33 | 10,00 |
| | 15 | 143,33 | 91,00 | 23,33 | 19,66 |
| | 30 | 133,33 | 99,66 | 23,33 | 10,00 |
| | 45 | 136,66 | 105,33 | 23,00 | 9,00 |
| | 60 | 138,33 | 103,00 | 22,33 | 10,33 |

* Promedio de tres replicaciones.

TABLA 7. Contenido de hierro, manganeso, zinc y cobre (ppm. de Fe, Mn, Zn y Cu) en las raíces del frijol var. Tundama obtenidos en invernadero con diferentes dosis de sulfatos de manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá.*

| Serie | Tratamientos Sulf. Mn.en kg./Ha. | Elementos en ppm. | | | |
|-----------|--|-------------------|-----|----|----|
| | | Fe | Mn | Zn | Cu |
| Techo | 0 | 690 | 364 | 46 | 25 |
| | 15 | 120 | 50 | 38 | 18 |
| | 30 | 300 | 171 | 60 | 27 |
| | 45 | 450 | 281 | 32 | 26 |
| | 60 | 510 | 243 | 30 | 22 |
| Tibaitatá | 0 | 405 | 158 | 54 | 22 |
| | 15 | 440 | 150 | 60 | 27 |
| | 30 | 585 | 155 | 52 | 23 |
| | 45 | 365 | 151 | 53 | 25 |
| | 60 | 640 | 126 | 46 | 20 |
| Bermeo | 0 | 225 | 95 | 23 | 22 |
| | 15 | 480 | 63 | 34 | 21 |
| | 30 | 700 | 78 | 20 | 20 |
| | 45 | 865 | 49 | 27 | 24 |
| | 60 | 900 | 60 | 31 | 21 |
| Cabrera | 0 | 365 | 55 | 20 | 16 |
| | 15 | 360 | 44 | 15 | 15 |
| | 30 | 190 | 55 | 17 | 19 |
| | 45 | 180 | 54 | 21 | 15 |
| | 60 | 380 | 64 | 19 | 19 |

*Análisis en las raíces de las tres replicaciones.

raíces y parte aérea del fríjol de estos elementos es $Fe > Mn > Zn > Cu$, esto está de acuerdo con lo reportado en la mayoría de las plantas cultivadas.

Las aplicaciones de sulfato de manganeso tuvieron poco efecto en los contenidos de zinc y cobre en los tejidos de las raíces y aéreas del fríjol, para los suelos investigados, presentando el contenido de zinc más alto en la parte aérea que en las raíces en el suelo de la serie Cabrera. Melton (40) informa que la toxicidad de zinc se presenta con 50 ppm. en plantas de fríjol. En términos generales las concentraciones de los elementos considerados fueron mayores en los tejidos radiculares, pero los contenidos fueron más constantes en la parte aérea que en las raíces. Lo anterior se debe a los diferentes tipos de tejidos que forman la parte aérea y raíces y las funciones que cumple cada órgano en el proceso de desarrollo para las plantas de fríjol en su conjunto.

En las Figuras 4 y 5, se grafican las concentraciones de hierro, manganeso e hierro de la parte del fríjol var. Tundama, contra las dosis de 0, 15, 30, 45 y 60 kg./Ha. de sulfato de manganeso aplicado a los suelos usados en este estudio, para todas las series y para las series Tibaitatá y Cabrera.

Las concentraciones de hierro en los tejidos aéreos y de las raíces

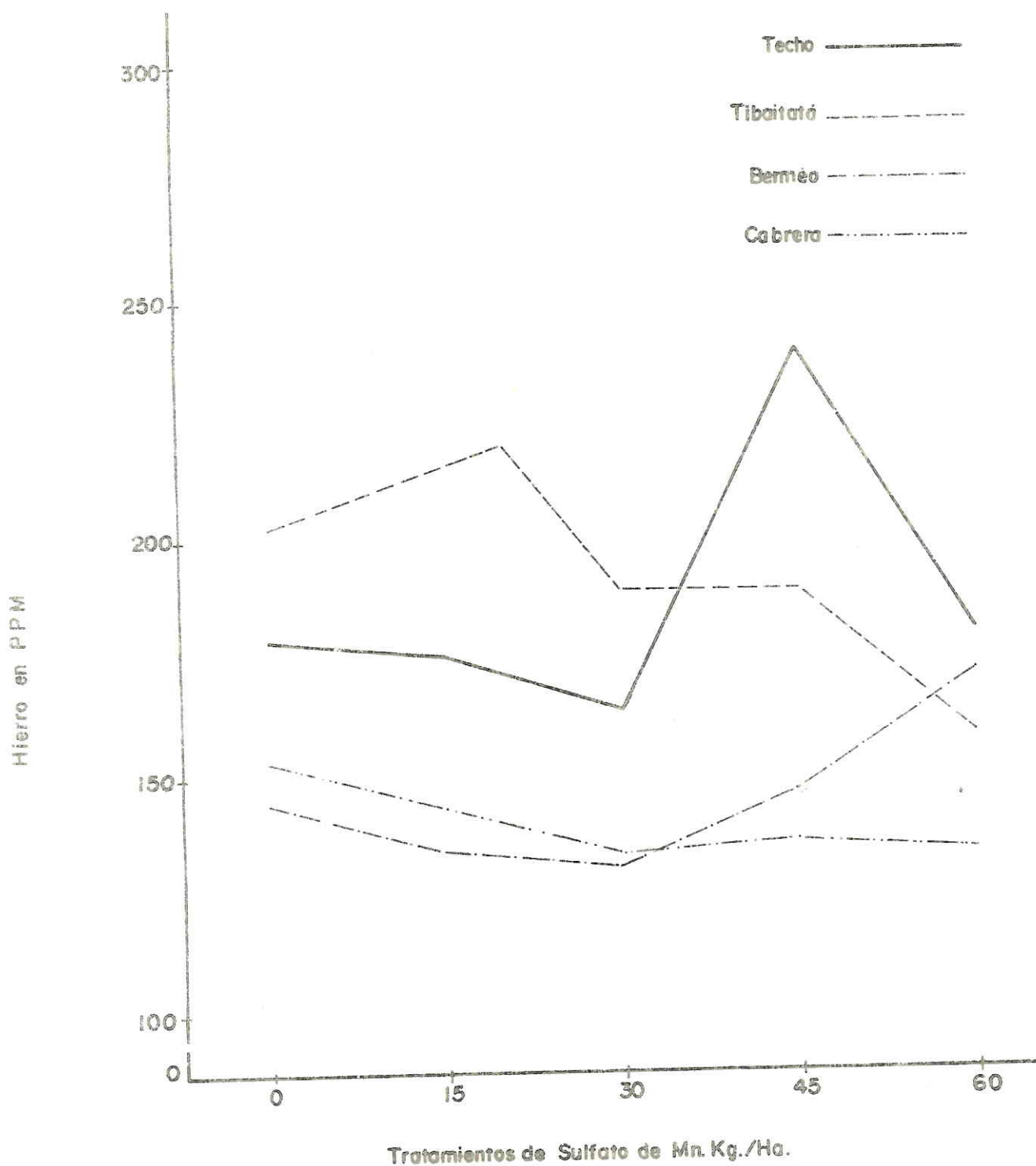


Figura 4. Contenidos de Hierro en la parte aérea del Frijol var. Tundama con diferentes dosis de Sulfato de Manganeso en cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá.

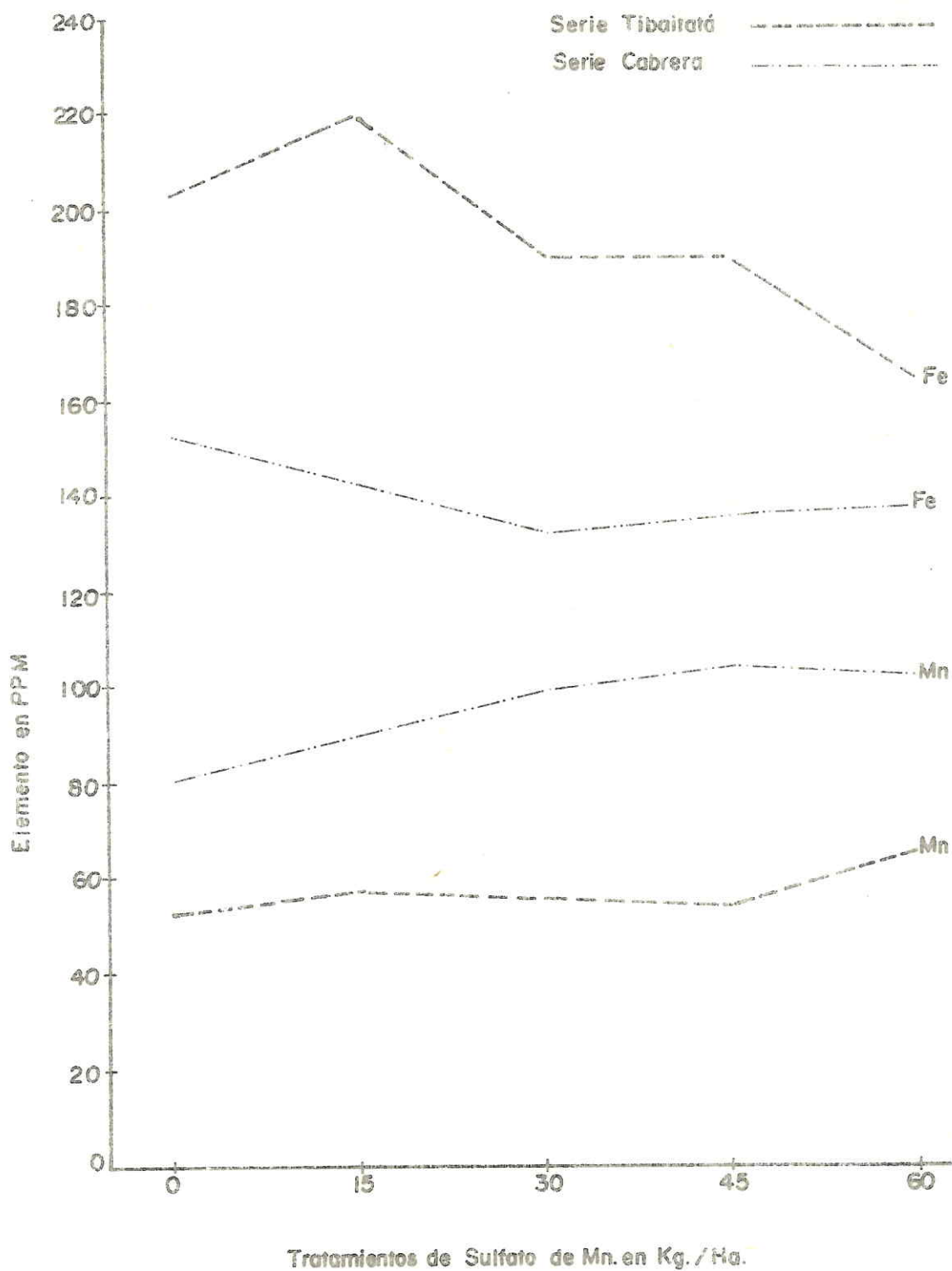


Figura 5. Contenidos de Hierro y Manganeso en la parte aérea del Frijol var. Tundama con diferentes dosis de Sulfato de Manganeso en dos series de suelos de la Sabana de Bogotá.

presentaron una relación inversa con las dosis de manganeso aplicadas al suelo. Este efecto fué mayor en los tejidos aéreos de las plantas de frijol cultivadas en los suelos de las series Tibaitatá y Cabrera. En esta última serie se nota que cuando el contenido de hierro y manganeso en los tejidos aéreos se mantiene aproximadamente constante para las dosis de 30, 45 y 60 kg./Ha. de sulfato de manganeso aplicado al suelo, la relación hierro/manganeso es aproximadamente constante (1.33, 1.29 y 1.34), lo cual es un buen índice para relacionar la nutrición de Fe y Mn en las plantas de frijol y las aplicaciones de manganeso en los suelos de la serie Cabrera, esto apoyado en lo investigado por Taper (58) y Williams et al. (65).

Las relaciones de hierro y manganeso en la nutrición mineral de las plantas superiores son ampliamente conocidas y una forma de explicarla es por el antagonismo que se manifiesta cuando la absorción de un ión es influenciado por la presencia de otro ión (Fe y Mn). Esto se debe a la competencia de los sitios de transporte debido a la habilidad y especificidad de un ión determinado por ocupar un sitio en el transportador, de acuerdo a la teoría de los transportadores. Otro modo según Mass (35) es la teoría de la hipótesis selectiva de la absorción de iones resultantes de cationes que introducen cambios en la conformación de la estructura de la molécula transportadora de los elementos considerados.

4.4 Ensayo de Campo.

En la Tabla 8, se muestran los datos de los análisis para manganeso por los métodos A, B, C y D en cada muestra de suelo correspondiente a cada bloque donde se situaron las parcelas para este experimento. El resultado de los análisis confirman nuevamente la secuencia general de la extracción del elemento por los métodos utilizados, que es $A > B > C > D$. El suelo de la serie Tibaitatá donde se realizó este ensayo tiene un contenido aceptable de manganeso que puede ser suministrado a las plantas para su desarrollo. En las Tablas 9 y 10 del Apéndice se muestran los análisis estadísticos que reflejan diferencias altamente significativas entre los contenidos de manganeso determinados por los métodos empleados en este trabajo.

En la Tabla 9, se presentan los datos del contenido de hierro, manganeso, zinc y cobre en los limbos de las hojas analizadas del frijol variedad Tundama de acuerdo a las dosis 0, 15, 30, 45 y 60 kg./Ha. de sulfato de manganeso aplicadas al suelo. Las muestras foliares se tomaron 65 días después de la germinación en las parcelas con el propósito de tener una información del estado nutricional de las plantas, en relación con los elementos menores mencionados anteriormente. Al incrementar el manganeso agregado al suelo a partir de la dosis de 30 kg./Ha. de sulfato de manganeso,

TABLA 8. Contenido de manganeso (ppm. de Mn) extraído por los métodos A, B, C y D en bloques de suelos de la serie Tibaitatá.

| Bloques | Métodos | | | |
|----------|---------|-------|-------|------|
| | A | B | C | D |
| 1 | 18,78 | 14,22 | 18,88 | 0,60 |
| 2 | 23,90 | 17,14 | 15,84 | 1,30 |
| 3 | 22,60 | 13,80 | 13,96 | 1,28 |
| 4 | 18,36 | 11,92 | 14,06 | 1,18 |
| Promedio | 20,91 | 14,27 | 14,13 | 1,09 |

D.M.S. para las medias de los métodos 2 a 6, según prueba de Tuckey.

* Cada dato es el promedio de tres extracciones.

TABLA 9. Contenido de hierro, manganeso, zinc y cobre (ppm. de Fe, Mn, Zn y Cu) en limbos del frijol var. Tundama obtenidos en el campo a los 65 días después de germinado con diferentes dosis de sulfato de manganeso en suelo de la serie Tibaitatá.

| Tratamientos Sulf. Mn. en kg./Ha. | Elementos en ppm. | | | |
|---|-------------------|-------|-------|-------|
| | Fe | Mn | Zn | Cu |
| 0 | 262,50 | 41,50 | 44,52 | 20,00 |
| 15 | 265,00 | 54,15 | 44,80 | 20,00 |
| 30 | 227,50 | 54,00 | 47,77 | 19,50 |
| 45 | 258,75 | 54,50 | 48,30 | 20,87 |
| 60 | 191,25 | 58,12 | 44,62 | 19,87 |

* Muestra foliar compuesta para cada nivel de sulfato de manganeso.

el contenido de hierro en los tejidos disminuyó debido al efecto antagónico del hierro y manganeso. Las aplicaciones de manganeso tuvieron poco efecto sobre los contenidos de cobre y zinc de las hojas, similar a lo encontrado en el ensayo de invernadero.

En la Tabla 10, se muestran los rendimientos del frijol variedad Tundama con las diferentes dosis de sulfato de manganeso. Los tratamientos sobresalientes en comparación con el testigo fueron los de 30 y 45 kg./Ha. de sulfato de manganeso.

En la Tabla 11, del Apéndice se muestra el análisis estadístico el cual indica que no se presentó diferencia significativa entre el testigo y los otros tratamientos.

Aparentemente las aplicaciones de sulfato de manganeso no tienen un efecto marcado sobre los rendimientos del frijol en el suelo estudiado, pero no obstante las diferencias relativamente altas en producción al comparar las dosis 0 y 30 y 45 kg./Ha de sulfato de manganeso que indican un aumento de 140 y 130 kg./Ha. de granos de frijol más sobre el testigo, respectivamente; la no significancia estadística en este ensayo entre el testigo y estos dos tratamientos puede deberse a otros factores no registrados en esta investigación.

TABLA 10. Rendimientos en kg./Ha. del frijol var. Tundama obtenidos en el campo con diferentes dosis de sulfato de manganeso en suelo de la serie Tibaitatá.

| Tratamientos Sulf.Mn. en kg./Ha. | Replicaciones | | | | Promedio* |
|--|---------------|------|------|------|-----------|
| | I | II | III | IV | |
| 0 | 2113 | 2569 | 1400 | 1838 | 1980,00 |
| 15 | 1554 | 2370 | 1740 | 1690 | 1838,50 |
| 30 | 2631 | 1551 | 2342 | 1995 | 2119,75 |
| 45 | 1866 | 2165 | 2578 | 1830 | 2109,50 |
| 60 | 1823 | 1764 | 1783 | 1611 | 1745,25 |

* Diferencias estadísticamente no significativa.

Existe una amplia información en relación a que el sulfato de manganeso es una buena fuente de manganeso aplicado al suelo para las plantas solo o combinado. Las aplicaciones combinadas con fertilizantes que contengan N, P y K tienden a dar mejores respuestas que cuando se aplica solo el sulfato de manganeso (38, 54, 30, 55, 25, 4, 61, 28, 15, 23, 59). Estas condiciones favorables para la aplicación de manganeso en los suelos estudiados parece que tuvo poco efecto, debido posiblemente al contenido aceptable de manganeso de estos suelos o las exigencias mismas de las plantas de frijol.

De acuerdo a estos resultados es recomendable hacer una investigación más extensa en suelos de la Sabana de Bogotá en relación con la respuesta de manganeso aplicado al suelo o por aspersiones foliares en diferentes cultivos. También caracterizar el sistema manganeso del suelo en forma más concreta para ver que interacciones puede presentar el suelo y las plantas para una mejor evaluación del manganeso y la respuesta de los cultivos a este elemento.

La característica más sobresaliente en este aspecto es que el manganeso en tejidos aéreos y raíces ocupa el segundo lugar en cuanto a contenido, mientras que en granos de frijol ocupa el último lugar entre los elementos hierro, manganeso, cobre y zinc. Este aspecto es difícil de expli -

car, pero es posible que se debe a que el manganeso participe en procesos muy activos dentro de la fisiología de las plantas (43). Por este motivo las plantas necesitan mayor cantidad de manganeso en la parte aérea y raíces y como el grano es un órgano de reserva de alimentos de relativa actividad fisiológica, posiblemente requiere un bajo contenido de este elemento.

En las Tablas 11 y 12, se indican los contenidos de manganeso, hierro, cobre y zinc, para los granos de frijol cuando se aplicó al suelo dosis de 0, 15, 30, 45 y 60 kg./Ha. de sulfato de manganeso.

Los contenidos de hierro, disminuyen con los aumentos de las dosis de sulfato de manganeso. El manganeso y cobre presentaron poca variación. Por su parte hubo un ligero aumento en la concentración de zinc.

En la Tabla 12 del Apéndice se muestra el análisis estadístico para los contenidos de manganeso en los granos de frijol con los diferentes niveles de sulfato de manganeso aplicados al suelo, los cuales no presentaron diferencias significativas con el testigo.

TABLA 11. Contenido de hierro, manganeso, zinc y cobre (ppm. de Fe, Mn, Zn y Cu) en granos de frijol var. Tundama obtenidos en el campo con diferentes dosis de sulfato de manganeso en suelos de la serie Tibaitatá.*

| Tratamientos Sulf. Mn. en kg./Ha. | Elementos en ppm | | | |
|---|------------------|-------|-------|-------|
| | Fe | Mn | Zn | Cu |
| 0 | 266,25 | 18,75 | 40,10 | 22,00 |
| 15 | 232,50 | 17,00 | 51,13 | 21,25 |
| 30 | 245,00 | 18,25 | 47,50 | 22,62 |
| 45 | 242,50 | 19,00 | 54,13 | 21,63 |
| 60 | 248,75 | 18,75 | 49,88 | 22,37 |

* Promedio de cuatro replicaciones.

TABLA 12. Contenido de manganeso (ppm. de Mn) en granos de frijol var. Tundama obtenidos en el campo con diferentes dosis de sulfato de manganeso en suelo de la serie Tibaitatá.

| Tratamientos Sulf. Mn. en kg./Ha. | Replicaciones | | | |
|---|---------------|----|-----|----|
| | I | II | III | IV |
| 0 | 17 | 20 | 20 | 18 |
| 15 | 17 | 15 | 18 | 18 |
| 30 | 19 | 15 | 19 | 20 |
| 45 | 18 | 19 | 18 | 21 |
| 60 | 18 | 18 | 17 | 22 |

D.M.S. No significativo.

5. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, invernadero y campo se deducen los siguientes aspectos fundamentales de este trabajo.

5.1 Ensayo de Laboratorio.

5.1.1 Los suelos, en relación a sus características más sobresalientes se pueden dividir en: 1) suelos con altos contenidos de materia orgánica y con propiedades muy similares a los suelos orgánicos. 2) suelos con bajos contenidos de materia orgánica y con propiedades de suelos minerales. Entre los primeros están involucrados los suelos de las series Bermeo y Cabrera y entre los segundos, los suelos de las series Techo y Tibaitatá. Ambos grupos de suelos están influenciados por cenizas volcánicas con distribución y magnitud de intervención no muy bien definidas en estos suelos.

5.1.2 Los resultados de las extracciones de manganeso intercambiable y manganeso soluble en agua en promedio de cinco sitios por cada serie de acuerdo a los métodos de Carolina del Norte (A), manganeso extraído con nitrato de magnesio 1N (B), acetato de amonio normal y neutro (C) y soluble en agua (D), fueron respectivamente de 27.18, 20.18, 19.66 y 0.96 ppm.

para los suelos de la serie Techo; 14.80, 13.82, 13.46 y 1.12 para los suelos de la serie Tibaitatá; 6.58, 5.34, 5.20 y 0.12 para los suelos de la serie Bermeo; 5.48, 4.00, 3.50 y 0.16 para los suelos de la serie Cabrera.

5.1.3 El método A extrajo mayor cantidad de manganeso que los otros métodos y el orden de extracción de manganeso fué el siguiente $A > B > C > D$.

5.1.4 Los análisis estadísticos revelan que hay diferencias altamente significativas (1%) en los contenidos de manganeso en los suelos de las diferentes series, en la extracción del elemento por los diferentes métodos y en la interacción de las series por métodos.

5.1.5 Al aumentar el contenido de materia orgánica el manganeso determinado por los métodos A, B, C y D disminuyó, debido probablemente al complejamiento del elemento y en caso de aumentar el contenido de arcilla de los suelos incrementaba el contenido de manganeso.

5.1.6 El pH no presentó una tendencia definida sobre las formas de manganeso extraído por lo que es aconsejable para posteriores estudios de este elemento en los suelos de la Sabana de Bogotá, considerar el contenido

de materia orgánica y posiblemente otros factores.

5.2 Ensayo de Invernadero.

5.2.1 Los rendimientos de materia seca a g./pote del frijol variedad Tundama para los suelos investigados fueron así: Techo > Bermeo \approx Tibaita \approx Cabrera.

5.2.2 En los suelos de la serie Techo y Bermeo las aplicaciones de sulfato de manganeso al suelo tuvieron un efecto deprimente en los rendimientos; en la serie Cabrera se presentó este mismo efecto en la dosis de 60 kg./Ha. de sulfato de manganeso.

5.2.3 Los análisis estadísticos mostraron que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos para una misma serie, pero si se presentó diferencias significativas entre los rendimientos entre serie, lo cual indica que las aplicaciones de sulfato de manganeso tienen efectos diferentes en cada suelo estudiado.

5.2.4 Las aplicaciones de sulfato de manganeso tienden a aumentar la concentración del elemento en las hojas y disminuir el contenido de hierro, de-

bido al antagonismo de estos elementos en la nutrición vegetal. El zinc y cobre variaron poco con las aplicaciones de sulfato de manganeso.

5.2.5 El análisis de varianza para el contenido de manganeso en la parte aérea del frijol variedad Tundama mostró diferencias altamente significativas (1%) entre las series con las dosis de sulfato de manganeso en kg./Ha. para los suelos estudiados.

5.2.6 No se presentó efecto adverso de toxicidad o deficiencias con las aplicaciones de sulfato de manganeso en los suelos estudiados.

5.3 Ensayo de campo.

5.3.1 El contenido de manganeso determinado por los métodos A, B, C y D, reflejó que el suelo estudiado de la serie Tibaitatá en que se realizó el experimento, tiene un contenido aceptable de manganeso de acuerdo a la literatura revisada.

5.3.2 Las aplicaciones de sulfato de manganeso en banda y debajo de la semilla, mezclado con un fertilizante de relación 1:3:1, no presentaron diferencias significativas en los rendimientos comparados con el testigo. Se

observó que las dosis de 30 y 45 kg./Ha. presentaron un aumento en relación con el testigo.

5.3.3 El contenido de hierro disminuyó en los granos de frijol con el aumento de las dosis de sulfato de manganeso. El manganeso y el cobre presentaron poca variación. Por su parte hubo un ligero aumento en las concentraciones de zinc.

6. RESUMEN

En suelos con influencia volcánica en la Sabana de Bogotá, se realizaron tres experimentos así: un experimento para determinar el manganeso intercambiable y soluble en agua; dos experimentos para evaluar el comportamiento del sulfato de manganeso del 23% de Mn en dosis de 0, 15, 30, 45 y 60 kg./Ha.

En el primer experimento los métodos para determinar el manganeso intercambiable fueron el de Carolina del Norte ($0.05N$ HCL + $0.25N$ de H_2SO_4) (A), el de nitrato de magnesio $1N$ (B), el de acetato de amonio normal y neutro (C) y el método de extracción del elemento con agua para el manganeso soluble (D). Las series de suelos Techo (Haplustalf), Tibaitatá (Inceptisol), Bermeo (Distrandept) y Cabrera (Inceptisol), fueron muestreadas a la profundidad 0-30 cm. en los horizontes Ap en cinco sitios diferentes. Los suelos de acuerdo a su contenido de materia orgánica se catalogaron en altos y bajos; entre los primeros están ubicados los suelos de las series Bermeo y Cabrera y entre los segundos los suelos de las series Techo y Tibaitatá. Se encontró relación inversa entre los contenidos de materia orgánica y los contenidos de manganeso extraído. La tendencia con la arcilla y los contenidos de manganeso es directa. El pH no presentó una tendencia definida sobre las formas de manganeso. Los análisis estadísticos revelaron

que hay diferencias altamente significativas (1%) en los contenidos de manganeso en los suelos de las diferentes series, en la extracción del elemento por los métodos usados y en la interacción serie por métodos. El método A extrajo mayor cantidad del elemento y el orden de extracción fué el siguiente $A > B > C > D$.

Los promedios en ppm. para los métodos A, B, C y D fueron respectivamente de 27.18, 20.18, 19.66 y 0.96 para los suelos de la serie Techo; 14.80, 13.82, 13.46 y 1.12 para los suelos de la serie Tibaitatá; 6.58, 5.34, 5.20 y 0.12 para los suelos de la serie Bermeo y 5.48, 4.00, 3.50 y 0.16 para los suelos de la serie Cabrera.

El experimento en el invernadero, usando como planta indicadora el frijol (Phaseolus vulgaris) variedad Tundama para estos suelos y con las dosis de sulfato de manganeso indicadas anteriormente, mostró que los rendimientos en g./pote de materia seca para estos suelos fueron altos para la serie Techo, similares en los suelos de las series Bermeo y Tibaitatá y menores en los suelos de la serie Cabrera. Las aplicaciones de sulfato de manganeso al suelo tuvieron un efecto deprimente en los rendimientos en suelos de las series Techo y Bermeo y en la serie Cabrera se presentó este mismo efecto a partir de la dosis de 60 kg./Ha. de sulfato de manganeso. No hubo diferen-

cia significativa entre los tratamientos para una misma serie, pero si hubo diferencia significativa entre los rendimientos para las series, lo cual indica que el sulfato de manganeso aplicado al suelo tiene efectos diferentes en cada serie de suelos estudiados. Los incrementos de manganeso al suelo disminuyeron la concentración del hierro en los tejidos aéreos debido posiblemente al efecto antagónico de estos dos nutrimentos en la nutrición mineral de las plantas. El zinc y cobre mostraron poca variación en la concentración aérea en las dosis de manganeso aplicadas.

El tercer experimento realizado en el campo en un suelo de la serie Tibaitatá con las mismas dosis de sulfato de manganeso aplicado en banda y debajo de las semillas en el momento de la siembra, no presentó diferencia significativa en los rendimientos en kg./Ha. de granos de frijol de la variedad Tundama en relación al t estigo, pero se notó un incremento con las dosis de 30 y 45 kg./Ha.

Los contenidos de hierro en los granos de frijol disminuyeron con el aumento de las dosis de sulfato de manganeso. El manganeso y cobre, presentaron poca variación. Por su parte, hubo un ligero aumento en la concentración de zinc.

7. SUMMARY

In this Work three experiments were done in soils of volcanic influence, in the Sabana de Bogotá as follow: one experiment to determine the interchangeable and water soluble manganese and two experiments to evaluate the behavior of the manganese sulphate containing 23% of Mn for apphed guatities of 0, 15, 30, 45and 60 kg./Ha.

In the first experiment the methods to determine the interchangeable manganese were those of North Carolina (0.05 N HCl + 0.25N H₂SO₄) (A), 1N magnesium nitrate (B), normal and neutral amonium acetate (C) and the water extraction method for the soluble manganese (D).

The soils series of Techo (Haplustalf), Tibaitatá (Inceptisol), Bermeo (Distrandept) and Cabrera (Inceptisol) were Sampled at 0-30 cm. depth. in Ap horizons in five different places. According to the organic matter content the soils were classified in high and low; to the first group belong soils of Bermeo and Cabrera series, to the second one belong Techo and Tibaitatá series. Inverse relation was found between organic matter content and extracted manganese content. Clay and manganese content were in direct relationship. pH did not show any determined tendendy on the manganese forms. Statestics analysis showed high significant difference (1%) in the manganese

contents for soils from different series, in the extraction of the element by using the mentioned methods and in the interaction of series and methods. The method A extracted the highest quantity of the element and the descendent order of extraction was A B C D.

The averages in ppm. for the methods A, B, C and D were respectively 27.18, 20.18, 19.66 and 0.96 for the Techo series soils; 14.80, 13.82, 13.46 and 1.12 for the Tibaitatá series soils; 6.58, 5.34, 5.20 and 0.12 for the Bermeo series soils and 5.48, 4.00, 3.50 and 0.16 for Cabrera series soils.

The experiment in the glass house, by using as indicator plant the kidney bean (Phaseolus vulgaris) Tundama variety for these soils and with the applied quantities of manganese sulphate previously indicated, showed that the yields of dry matter in gr./pot were high for Techo series, similar for soils from Bermeo and Tibaitatá series and lower for soils from Cabrera series. Applications of manganese to the soil had a depressing effect in yield for the series Techo and Bermeo Soils, and Cabrera series showed the same effect from the quantity of 50 kg./Ha. of manganese sulphate. There was not significant difference in treatments for the same series but there was significant difference among the yields for the series, which indicates that applications of manganese

sulphate to the soil have different effects for each of the soil series under study. Increments of manganese in the soil depressed iron concentration in the aerial part of the plant; this is possibly due to the antagonistic effect of these two elements in the plant mineral nutrition. Copper and zinc showed slight variation in the aerial concentration with the manganese quantities applied.

In the third experiment carried out in the field, there was not significant difference in the yields (kg./Ha.) of kidney bean grain for the Tundama variety in relation with the indicator plant, when a soil of Tibaitatá series was treated with the same quantities of manganese sulphate applied in bands and under the seeds at seedtime. However an increment in the yield with the quantities of 30 and 45 kg./Ha. was observed.

The iron contents in the kidney bean grains decreased as the quantities of manganese sulphate applied increased. Manganese and copper showed slight variation. There was a slight increase in the zinc concentration.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ABRUÑA, F. M.; CHANDLER, W. and PEARSON, R. W. Effects of liming on yields and composition heavility fertilizer grass and soil propieties under humid tropical condition. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28:657-661. 1964.
2. BEAR, F. E. *Química de suelos*. Madrid, Interamericana, 1963. 340 p.
3. BENAVIDES, S. *Estado del manganeso en los suelos de la Sabana de Bogotá*. Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Departamento Agrológico, 1959. 49 p.
4. BERNAL, E. J. *Estudio sobre elementos menores en un suelo negro orgánico del oriente antioqueño usando tres plantas indicadoras*. Tesis Ing. Agr. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1966. 58 p.
5. BOKEN, E. *Investigaciones on the determination of the available manganese content of soil*. *Plant and soil (Holanda)* 9:269-285. 1958.
6. BROWMAN, M. E.; CHESTER, G. and PIONKE, H. B. Evaluation o² test for proceding the availability of soil manganese to plants. *Jour. Agric. Sci. Camb. (Gran Bretaña)* 72:335-340. 1969.
7. CALZADA, J. B. *Metodos estadísticos para la investigación*. 2. ed. Lima, Sesator, 1964. 432 p.
8. CASTRO, P. J. and BLASCO, L. M. *Manganese in volcan soils of Nariño, Colombia*. *Agrochimica. (Italia)* 26:(4-5):336-341. 1972.
9. CHRISTENSEN, P. D.; TOTH, S. J. and BEAR, F. *The status of soil manganese as influence by moisture, organic mater and pH*. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 15:279-281. 1950.
10. COLLINGS, F. J. and BOUL, S. W. *Effects of fluctuations in the Eh-pH environment on iron and/or manganese equilibria*. *Soil Sci. (EE.UU.)* 100:111-117. 1970.

11. COX, R. F. Development of a yield response prediction and manganese soil test interpretation for soybeans. *Agron. Jour.* (EE.UU.) 60:521-524. 1968.
12. ESCUELA NACIONAL DE AGRICULTURA. COLEGIO DE POSTGRADUADOS MEXICO. Química de los elementos menores. Chapingo, México, 1970. 100 p.
13. FASSBENDER, H. W. y ROLDAN, J. A. Formas y equilibrio del manganeso en suelos de América Central. *Turrialba (Costa Rica)* 23:30-36. 1973.
14. _____. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1975. 380 p.
15. FISKEL, J. G. and MOURKIDES, G. A. A comparison of manganese sources using tomato plant grow on marl. Pest and sand soils. *Plant and soil (Holanda)* 6:313-331. 1955.
16. FORERO, C. M. y CORTES, A. Influencia de cenizas volcánicas en algunos suelos de la Sabana de Bogotá. *Suelos Ecuatoriales. (Colombia)* 8:406-411. 1977.
17. FUMIJOTO, C. K. and SHERMAN, D. G. Behavior of manganese in the soil and the manganese cycle. *Soil Sci. (EE.UU.)* 66:131-145. 1948.
18. GEERING, H. R.; HODGSON, F. J. and SDAMO, C. Micronutrients cation complexes in soils solution. IV. The chemical state of manganese in soil solution. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33:81-85. 1969.
19. GOMEZ, P. E.; OSPINA, F. C. y QUINTERO, J. Estudio de micronutrientes en un suelo de la Sabana de Bogotá. (Serie Bermeo). *Suelos ecuatoriales. (Colombia)* 8:185-194. 1977.
20. GUPTA, C. U.; CHIPMAN, E. W. and MACKAY, D. C. Influence of manganese and pH on chemical composition bronzing of leaves and yield of carrot grown on acid sphangnum peat soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34:762-764. 1970.

21. HAMMES, J. K. and BERGER, K. C. Manganese deficiency in oats and correlation of plant manganese with various soil test. *Soil. Sci. (EE.UU.)* 90:239-244. 1960a.
22. _____. Chemical extraction and crop removal of manganese from air dried and moist soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24:361-364. 1960b.
23. HEINTZE, S. G. and MAN, P. G. Soluble complexes of manganic manganese. *Jour. Agric. Sci. (Inglaterra)* 37:23-26. 1947.
24. HOFF, D. F. and MEDERSKI, M. J. The chemical estimation of plant available soil manganese. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22:129-132. 1958.
25. HOSSNER, R. L. and RICHARDS, G. E. The effect of phosphorus source on the movement and uptake of band applied manganese. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33:83-85. 1968.
26. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Estudio general de clasificación de los suelos de la cuenca alta del río Bogotá para fines agrícolas. Bogotá, 1968. v. 4. no. 1. 197 p.
27. JACKSON, L. T.; WESTERMAN, D. T. and MOORE, D. P. The effect of chlorine and lime on the manganese uptake by bush beans and sweet corn. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30:70-73. 1966.
28. JONES, L. M. and LEEPER, G. W. The availability of various manganese oxides to plants. *Plant and Soil (Holanda)* 3:141-153. 1951.
29. KAMPATH, E. J. Soil acidity and response to liming. Raleigh, North Caroline, State University, Technical Bulletin no. . 1967. p. 4-20.
30. KNEZEK, B. D. and GREINERT, H. Influence of soil Fe y Mn EDTA interactions upon the Fe and Mn nutrition fo bean plants. *Agr. Jour. (EE.UU.)* 63:617-619. 1971.

31. LABANUSKAS, C. K. Manganese. In Chapman, H. D. Diagnostic criterio for plant and soils. Riverside, University California, 1966. p. 264-285.
32. LORA, R. Análisis foliar. Técnica de muestreo y preparación del material para su análisis química. Bogotá, ICA, 1970. 25 p.
33. _____; OSPINA, G. y ZANDSTRA, H. Determinación del Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio en muestras vegetales usando una sola digestión. Rev. ICA 8:245-259. 1973.
34. LUCAS, R. E. and DAVIS, J. F. Relationship between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. Soil Sci. (EE. UU.) 92:177-182. 1961.
35. MASS, V. E.; MORE, P. D. and MASON, J. B. Influence of calcium and magnesium on manganese absorption plant. Plant. Plant. Physiol. (EE.UU.) 44:796-800. 1969.
36. MARIN, M.G. Algunos aspectos del análisis de suelos II. Tipos de análisis y procedimientos. Agric. Trop. (Colombia) 22:15-22. 1966a.
37. _____ y GOMEZ, J. A. Algunos aspectos de análisis de suelos IV. Interpretación de análisis y procedimientos. Agric. Trop. (Colombia) 22:368-379. 1966 b.
38. MEDERSKI, H. T. and HOFF, D. J. Manganese oxido and manganese sulfate as fertilizer source correcting manganese deficiency in soy beans. Agron. Jour. (EE.UU.) 52:667-670. 1960.
39. MEHLICH, A. Aluminium, iron and pH in relations to lime induce manganese deficiencies. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21:625-628. 1957.
40. MELTON, J. R.; ELLIS, B. G. and DOLL, E. C. Zinc, phosphorus and lime interacciones with yields and zinc uptake by Phaseolus vulgaris. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:91-93. 1970.

41. MORRIS, H. D. The soluble manganese content of acid soil its relation to the growth and manganese content of sweet clover y lespedeza. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13:362-371. 1948.
42. MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M. and LINDSAY, W. L. Micronutrients in agriculture. Madison Soil Science Society of America, 1972. 666 p.
43. MULDER, E. G. and GERRETSEN, F. C. Soil manganese in relation to plant growth. *Advances. in Agronomy. (EE.UU.)* 4:221-271. 1952.
44. PAGE, E. R.; SCHOFIELD, E. K. and Mc GREGOR, A. J. Studies in soil and plant manganese I. Manganese in soil and its uptake by oats. *Plant and soils. (Holanda)* 16:238-245. 1962a.
45. ———. Studies in soil and plant manganese II. The relationship of soil pH manganese availability. *Plant and soil. (Holanda)* 16:247-256. 1962b.
46. POLSON, E. D. and ADAMS, M. W. Differential response of navy beans to zinc I Differential goowth and elemental composition at exersive zinc leveles. *Agr. Jour. (EE.UU.)* 62:557-560. 1970.
47. PRICE, N. O. and MOSCHLER, W. W. Plant uptake of minerales effect of residual lime in soils on minor elements in plants. *Jour. Agric. Food. Che. (EE.UU.)* 13:163-165. 1965.
48. RANDHAMA, N. S.; KANWAR, J. S. and NIJHAWAN, S. D. Distribution of different forms of manganese in the punjab soil. *Soil Sci. (EE.UU.)* 92:106-112. 1961.
49. RICH, I. C. Manganese content of peanut leaves as related to soil factor. *Soil. Sci. (EE.UU.)* 82:353-363. 1956.
50. SANCHEZ, C. and KAMPRATH, E. Effect of liming and organic mater content on the availability of native and aplied manganese. *Soil Sci. Amer. Proc.* 23:302-304. 1959.

51. SHALSCHA, B. E.; RIQUELME, G. R.; VERGARA, H. G. y VERGARA, S. I. Elementos trazas en suelos derivados de cenizas volcánicas I. Disponibilidad de zinc, cobre, hierro y manganeso. Estudio comparativo de diversos métodos de extracción. *Agric. Tec. (Chile)* 28:137-143. 1968.
52. SHCHNITZER, M. Reactions between fulvic acid, a soil húmic componud and inorganic soil constituyent. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33:75-81. 1969.
53. SNEDECOR, G. Métodos estadísticos. México, Continental, 1964. 593 p.
54. STECKEL, J. E. Manganese fertilizations of soy beans in indiana soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 11:345-348. 1946.
55. _____; BERTRAMSON, B. R. and OHLROGGE, A. J. Manganese nutrition of plant as related to aplied superphonphate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13:108-111. 1948.
56. TAKKARD, P.N. Effect of organic mater on soil iron and manganese. *Soil Sci. (EE.UU.)* 108:108-112. 1969.
57. TANAKA, M.; JATAZAWA, M. and IYER, J. G. Supply of trace elements in nursery soil of wisconsin. *Soil Sci. and plants nutrition. (Japón)* 13:31-35. 1967.
58. TAPER, C. D. and LEACH, W. Studies in plant mineral nutrition. III. The effects of calcium concentration in culture solution upon the absorción of iron and manganeso by dwarf kidney bean. *Cann. Jour. Bot.* 35:773-777. 1957.
59. TISDALE, S. L. and BERTRAMSON, B. R. Element sulfur and its relations ship to manganese availability. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 15:131-137. 1950.
60. TOTH, S. J. Manganese status of some New Jersey soil. *Soil Sci. (EE.UU.)* 71:467-472. 1951.

61. TOTH, S. J. Manganese availability in soils of varying glauconite content. *Soil Sci. (EE.UU.)* 101:31-38. 1966.
62. VIETS, G. F. Chemistry and availability of micronutrients in soil. *Agric. and Food. Chem. (EE.UU.)* 10:174-177. 1962.
63. VINAYAK, P. C.; MEHTA, K. M. and SET, S. P. Manganese status of rajasthan soils. *Soil. Sci. and plant nutrition. (Japón)* 13:201-205. 1967.
64. WHITE, P. R. Effect of lime upon soil and plant manganese levels in an acid soil. *Soil Sci. Amer. Proc.* 34:625-629. 1970.
65. WILLIAMS, E. D. and ULAMIS, J. Manganese and Boron toxicities in standar culture solutiones. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21:305-308. 1957.

APENDICE

TABLA 1. Análisis de varianza para el contenido de manganeso en ppm. de las cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá por los métodos A, B, C y D.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F Cal | F. Tablas | | Sig. |
|------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------|-----------|--------|------|
| | | | | | 0,5 | 0,01 | |
| Series | 3 | 2434,49 | 811,5 | 33,20 | 2,76 | 4,11** | |
| Métodos | 3 | 1923,79 | 641,26 | 26,23 | 2,76 | 4,11** | |
| Interacción métodos x series | 9 | 794,92 | 88,32 | 3,61 | 2,01 | 2,69** | |
| Error | 64 | 1564,5 | 24,24 | | | | |
| Total | 79 | 6717,50 | | | | | |

TABLA 2. Resultados de la prueba de Tuckey aplicadas a medias de series de suelos de la Sabana de Bogotá de los sitios de la determinación de manganeso en ppm. por los métodos A, B, C y D.

| Serie | Medias | | | |
|-----------|-----------|---------------|----------------|----------------|
| | \bar{X} | $\bar{X}-328$ | $\bar{X}-4.31$ | $\bar{X}-10.8$ |
| Techo | 17,00 | 13,72* | 16,69** | |
| Tibaitatá | 10,80 | 7,52* | 6,49** | |
| Bermeo | 4,31 | 1,03 | | |
| Cabrera | 3,28 | | | |

DSH. 0.05 = 4.10

TABLA 3. Resultados de la prueba de Tuckey aplicada a los métodos usados en las cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá para la determinación del manganeso en ppm.

| Métodos | Medias | | | |
|---------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
| | \bar{X} | $\bar{X}-0.59$ | $\bar{X}-10.45$ | $\bar{X}-10.83$ |
| A | 13,58 | 12,99* | 3,13 | 3,13 |
| B | 10,83 | 10,24* | 0,38 | |
| C | 10,45 | 9,86* | | |
| D | 0,59 | | | |

DSH. 0.05 = 4.10

TABLA 4. Resultados de la prueba de Tuckey aplicada a medias de las interacciones series por métodos en la determinación de manganeso en ppm. en suelos de las cuatro series de la Sabana de Bogotá.

| Serie | Métodos | | | |
|-----------|---------|-------|-------|------|
| | A | B | C | D |
| Techo | 27,22 | 20,18 | 19,66 | 0,96 |
| Tibaitatá | 14,88 | 13,82 | 13,46 | 1,12 |
| Bermeo | 6,58 | 5,34 | 5,20 | 0,12 |
| Cabrera | 5,48* | 4,00 | 3,50 | 0,16 |

DSH. 0.05 = 21.21

TABLA 5. Análisis de varianza de los rendimientos del frijol variedad Tundama para las variables series y dosis de sulfato de manganeso en suelos de la Sabana de Bogotá obtenidos en invernadero.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F Cal | F. Tablas | | Sig. |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------|-----------|------|------|
| | | | | | 0.5 | 0.01 | |
| Tratamientos | 4 | 2,36 | 0,59 | 1,84 | 2,61 | 3,83 | N.S. |
| Series | 3 | 86,29 | 28,76 | 89,87 | 2,84 | 4,31 | ** |
| Interacción series x tratamientos | 12 | 5,19 | 0,45 | 1,34 | 2,00 | 2,66 | N.S. |
| Error | 40 | 13,04 | 0,32 | | | | |
| Total | 59 | 106,88 | | | | | |

TABLA 6. Resultados de la prueba de Tuckey aplicada a los rendimientos del frijol variedad Tundama (en g./pote) de materia seca en las cuatro series de suelos de la Sabana de Bogotá, obtenidos en invernadero.

| Serie | Medias | | | |
|-----------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | \bar{X} | $\bar{X}-3.832$ | $\bar{X}-4.942$ | $\bar{X}-5.158$ |
| Techo | 7,158 | 3,326** | 2,216** | 2,00** |
| Tibaitatá | 5,158 | 1,326* | 0,216* | |
| Bermeo | 4,942 | 1,110* | | |
| Cabrera | 3,832 | | | |

DSH. 0.05 = 0.55

TABLA 7. Análisis de varianza del contenido de manganeso (ppm de Mn) del frijol variedad Pará las variables series y dosis de sulfato de manganeso en suelos de la sabana de Bogotá obtenidos en invernadero.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F Cal | F. Tablas | | Sig. |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------|-----------|------|------|
| | | | | | 0.5 | 0.01 | |
| Tratamientos | 4 | 2,903,44 | 725,86 | 0,697 | 2,61 | 3,83 | N.S. |
| Series | 3 | 30.514,45 | 10.171,38 | 9,77 | 2,84 | 4,31 | ** |
| Interacción series x tratamientos | 12 | 9.748,30 | 809,85 | 0,77 | 2,00 | 2,66 | N.S. |
| Error | 40 | 41.627,89 | 1040,69 | | | | |
| Total | 59 | 51.346,19 | | | | | |

TABLA 8. Resultados de la prueba de Tuckey aplicada a las series en los contenidos de manganeso (ppm. de Mn) en la parte aérea del frijol variedad Tundama con diferentes dosis de sulfato de manganeso en 4 series de suelos de la Sabana de Bogotá obtenidos en invernadero.

| Serie. | Medias | | | |
|-----------|-----------|-----------------|----------------|------------------|
| | \bar{X} | $\bar{X}-56.73$ | $\bar{X}-96.0$ | $\bar{X}-106.13$ |
| Bermeo | 116,20 | 59,47* | 20,2 | 10,7 |
| Techo | 106,13 | 49,43* | 10,13 | |
| Cabrera | 96,00 | 39,27** | | |
| Tibaitatá | 56,76 | | | |

DSH. 0.05 = 31.56

TABLA 9. Análisis de varianza para los contenidos de manganeso (ppm. de Mn) por los cuatro métodos en el experimento de campo en el suelo de la serie Tibaitatá.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F Cal | F. Tablas | |
|----------------------|--------------------|-------------------|------------------|----------|-----------|------|
| | | | | | 0,01 | 0,05 |
| Métodos | 3 | 830,68 | 276,89 | 153,33** | 6,99 | 3,86 |
| Bloques | 3 | 25,51 | 7,83 | 4,35 | 6,99 | 3,86 |
| Error | 9 | 16,28 | 1,80 | | | |
| Total | 15 | 870,47 | | | | |

TABLA 10. Resultados de la prueba de Tuckey aplicada a las medias de los contenidos de manganeso (ppm. de Mn) extraído por los cuatro métodos en el experimento de campo en el suelo de la serie Tibaitatá.

| Métodos | Medias | | | |
|---------|-----------|------------------|-------------------|-------------------|
| | \bar{X} | $\bar{X} - 1.09$ | $\bar{X} - 14.13$ | $\bar{X} - 14.27$ |
| A | 20,91 | 19,82* | 6,78* | 6,64* |
| B | 14,27 | 13,18* | 0,14 | |
| C | 14,13 | 13,04* | | |
| D | 1,09 | | | |

DSH. 0.05 = 2.96

TABLA 11. Análisis de varianza para los rendimientos del frijol variedad Tundama con diferentes dosis de sulfato de manganeso en el experimento de campo.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F Cal | F. Tablas | |
|----------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------|-----------|------|
| | | | | | 0.01 | 0.05 |
| Tratamientos | 4 | 450071,30 | 112517,82 | 0,70 | 5,41 | 3,26 |
| Bloques | 3 | 223766,55 | 74588,85 | 0,46 | 27,05 | 8,74 |
| Error | 12 | 1927834,70 | 160652,70 | | | |
| Total | 19 | 2601672,55 | | | | |

TABLA 12. Análisis de varianza para el contenido de manganeso (ppm. de Mn) en granos de frijol variedad Tundama con diferentes dosis de sulfato de manganeso en el experimento de campo.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F cal | F. Tablas | |
|----------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------|-----------|------|
| | | | | | 0.01 | 0.05 |
| Tratamientos | 4 | 10,30 | 2,57 | 0,97 | 14,37 | 5,91 |
| Bloques | 3 | 16,55 | 5,51 | 2,08 | 5,95 | 3,49 |
| Error | 12 | 31,70 | 2,64 | | | |
| Total | 19 | 58,55 | | | | |