

24-70



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ciencias

DETERMINACION DE LOS MICRONUTRIMENTOS  
Cu<sup>##</sup> , Fe<sup>##</sup> , Mn<sup>##</sup> y Zn<sup>##</sup> EN SUELOS  
CAFETALEROS DEL SOCONUSCO,  
ESTADO DE CHIAPAS

## TESIS

Que Para Obtener el Título de

**BIOLOGO**

Presenta

MARIA DEL SOCORRO GALICIA PALACIOS

México, D:F.

1986



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

	pág.
I. INTRODUCCION:	2
II. OBJETIVOS.	3
III. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS.	4
A. Suelos de Origen Volcánico y su Relación con Cultivos de Cafeto	
1. Suelos derivados de ceniza volcánica.	5
2. Propiedades físicas.	7
3. Propiedades químicas.	7
4. Propiedades mineralógicas.	9
5. Suelos Cafetaleros.	11
6. El cafeto.	12
B. Los micronutrientes del Suelo	
1. Abundancia de microelementos.	
a. En la corteza terrestre	14
b. En las rocas.	14
c. En Suelos.	15
2. Abundancia y disponibilidad de los micronutrientes Cu <sup>++</sup> , Fe <sup>++</sup> , Mn <sup>++</sup> y Zn <sup>++</sup> .	17
IV. DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.	
A. Localización	32
B. Topografía	32
C. Geología	32
D. Clima	33
E. Hidrografía	33
F. Vegetación	34
g. Suelos	35

V. MATERIAL Y METODOS	35
A. De Campo	35
B. Diseño Experimental de Invernadero	37
C. De laboratorio	37
IV. RESULTADOS.	39
VII. DISCUSION.	79
VIII. CONCLUSIONES.	83
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	87

## INTRODUCCION

El area de trabajo está localizada en la zona cafetalera del Soconusco, Estado de Chiapas, el estudio se realizó para observar la relación suelo planta con respecto a los micronutrimientos  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  aprovechables en el suelo y los contenidos en las plantas ya que existen variaciones de concentraciones muy reducidas, entre las deficiencias y toxicidades que se pueden originar. Al encontrarse en mayor disponibilidad, de tal manera que puedan causar toxicidades ó una deficiencia que pueda repercutir en la producción y calidad del producto.

Este trabajo constituye un experimento previo a nivel de invernadero utilizando como planta indicadora a la lechuga Lactuca sativa variedad Great Lakes con el fin de evaluar los contenidos de  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  disponibles en los suelos y asimilables por las plantas con el fin de que constituyan un reforzamiento para posteriores experimentos que se realicen en estas zonas cafetaleras, con suelos de origen volcánico.

Debido a esto se justifica que el presente trabajo pretende ser una contribución al estudio de los micronutrimientos en los suelos de origen volcánico de la Sierra del Soconusco, Estado de Chiapas y relacionarlos con la fertilidad de los mismos.

## II. OBJETIVOS.

Con el propósito de evaluar la disponibilidad y concentración de los micronutrientes en suelos y plantas al aplicarse diferentes dosis de fósforo, calcio y silicato, se plantean los siguientes objetivos:

- a. Determinar la disponibilidad de los micronutrientes  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  en suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona de estudio.
- b. Determinar la concentración de los micronutrientes  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  en lechuga (Lactuca sativa L. variedad Great Lake 407).
- c. Relacionar la disponibilidad de éstos micronutrientes cuando se aplican diferentes tratamientos de fertilización fosfórica en calado y silicatos.

### III. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

#### A. SUELOS DE ORIGEN VOLCANICO Y SU RELACION CON CULTIVOS DE CAFETO

Los suelos de cenizas volcánicas, impropriadamente llamados así, pues no son el producto de una combustión de material piroclástico sino que se han originado en los volcanes de tipo explosivo y bien podrían llamarse de polvo volcánico Hayama y Aguilera, (1972).

Estos suelos han sido objeto de constantes estudios en todo el mundo, en Japón Nueva Zelandia, Tanzania, Indonesia, Hawaii, Colombia y Chile, donde se han conocido con diferentes nombres. Los suelos derivados de cenizas volcánicas los podemos encontrar en los diversos tipos de climas, geográficamente se desarrollan desde las zonas áridas hasta las zonas tropicales húmedas, altitudinalmente desde las regiones alpinas hasta unos cuantos metros sobre el nivel del mar.

En México, el primer estudio realizado fué en el Estado de Jalisco por Aguilera, (1955); y continuaron en diferentes lugares como el Estado de Michoacán Cervantes, (1965); Veracruz Johnson, (1970); en los Estados de México y Puebla Gómez (1975); Hayama, (1971) y García, (1970).

Durante el Terciario hubo numerosas erupciones volcánicas en el país, principalmente en las zonas que ahora se conocen con el nombre de Eje Neovolcánico Transversal ó Eje Neovolcánico Mexicano, situado a lo largo del paralelo 19° Dada la intensa actividad volcánica, muchos suelos de México son derivados de material ígneo y cenizas volcánicas de origen basáltico, andesítico ó riolítico, que a través del tiempo han sufrido el proceso de intemperismo debido a la acción de los factores de formación como son: organismos vegetales y animales clima, material parental y topografía originando suelos con características físicas y químicas particulares como son: su estructura migajosa en el horizonte A, valores bajos de densidad aparente, alta porosidad y humedad aprovechable; altos contenidos de material amorfo mineral y orgánico; relacionados con valores altos de capacidad de intercambio catiónico. (Cortés, (1966) y Swindale,

(1969).

Los suelos derivados de cenizas volcánicas cubren la superficie de 490.750 Km<sup>2</sup> algunos de ellos están clasificados como suelos de Ando, en sistema de Clasificación de la Séptima Aproximación (dentro del suborden Andept. (1960) y en el sistema de Clasificación FAO UNESCO se les conoce como Andosoles, en los cuales se desarrollan una gran diversidad de cultivos de importancia económica tales como el maíz, trigo, frijol, caña de azúcar, algodón, plátano cacao y particularmente el café Aguilera, (1969).

#### 1. Suelos derivados de cenizas volcánicas

Aguilera, (1969) indica que en algunos casos la génesis y morfología de los suelos derivados de material volcánico presentan serias dificultades cuando las características morfológicas de los perfiles son comparadas con la fertilidad penetración de las raíces, propiedades de la materia orgánica, fracción húmica, mineralización del nitrógeno, fijación de fósforo, toxicidad de aluminio y las relaciones de Fe<sup>++</sup>, Cu<sup>++</sup>, Zn<sup>++</sup> y Mo<sup>++</sup>.

Wright, Swindale, Sherman, (1964) expresan que pueden presentar perfiles con horizontes AC, A(B)C ó ABC con profundidades que oscilan desde 50 cm, hasta un metro; el horizonte A es muy oscuro con estructura fina granular ó migajosa, el horizonte B ó C es de color pardo amarillento, el B presenta un horizonte cámbico ó puede adquirir espesor y formar subhorizontes B<sub>22</sub> y B<sub>2</sub> con base en diferencias de estructura, es común observar en suelos derivados de cenizas volcánicas horizontes enterrados por una capa de cenizas volcánicas, lo suficientemente grueso como para originar un nuevo perfil superior; se considera que algunos regosoles son precursores de los andosoles y tienen perfiles AC poco profundos.

Actualmente se les considera dentro de la categoría del Orden Andisol por lo menos para aquellos suelos que ahora son Andepts, Leamy, (1984) y se les define como: suelos minerales que no tienen un régimen de humedad arídico ó un horizonte argílico, nátrico, espódico u óxico a menos que sea un horizonte enterrado, pero tienen uno ó más epipedones hístico, mólico ó úmbrico ó un

horizonte cámbico, plácico ó un duripan. Deben tener una profundidad de 35 cm ó más o tener un contacto lítico ó paralítico, entre 18 a 35 cm ó más de profundidad, densidad aparente de la fracción fina menor de 0.85 g/cc, el complejo de cambio dominado por materiales amorfos, tienen 60 % ó más en peso de ceniza volcánica vítrica, no calcárea, pumítica, lapilli ó materiales volcánicos clásticos, vítricos hasta una profundidad de 25 cm ó más en la mayor parte de los horizontes el pH es de 9.2 ó mayor después de 2' en una relación 1:5 de suelo y NaFN. Una retención de agua en la tierra fina sin secar a 15 bar de presión entre 40 % ó más.

De acuerdo a la Soil Taxonomy USDA (1975) los Andcepts, son Inceptisoles más ó menos libremente drenados que tienen baja densidad aparente, una apreciable cantidad de alofano, alta capacidad de intercambio catiónico y derivan en su mayoría de materiales piroclásticos. Muchos se forman a partir de cenizas volcánicas pero otros lo hacen a partir de rocas piroclásticas, rocas sedimentarias ó rocas ígneas extrusivas básicas. La mayoría de los Andsoles contienen ó han tenido algo de vidrio aunque este se altera rápidamente en climas húmedos, algunos Andcepts del Pleistoceno ó de principios del Holoceno contienen sólo trazas de este vidrio.

Boul, (1981) menciona que los Inceptisoles son suelos inmaduros con un horizonte cámbico, que derivan de cuarcita, conservando cierta semejanza con el material parental, con ciertas características comunes como:

- a) Material original resistente
- b) Abundancia de cenizas volcánicas
- c) Pendientes y depresiones fuertes
- d) Superficies geomórfológicas jóvenes que limitan el desarrollo del suelo

Muchos de los Inceptisoles se pueden formar a partir de material volcánico y han recibido el nombre de Ando, según Jackson, (1964) el alofano es un producto de la intemperización de las cenizas volcánicas, se combina con el humus para formar complejos órgano minerales resistentes, de color oscuro. Las zonas con mucha pendiente son más apropiadas para bosques, zonas recreativas ó de preservación de la vida silvestre.

Los Inceptisoles con mal drenaje se pueden utilizar ampliamente para cultivar; a condición de que pueda aplicarse un drenaje artificial, tienen propiedades de densidad aparente menor de 0.85 g/cc en el epipedon ó en el horizonte cámbico , una saturación de bases menor del 50 % a una profundidad de 1:8 m, una temperatura media invernal menor de 5° C y la fracción arcillosa con tituye el 35 % de montmorillonita Buol, (1981).

## 2. Propiedades físicas

Las características físicas de estos suelos más importantes son su alto contenido de humedad natural, con una densidad aparente baja, alta porosidad por lo cual son fácilmente lixiviados, su área de superficie específica alta les confiere propiedades de absorción muy elevada para la materia orgánica Swindale, (1969).

El alto contenido de humedad a través del perfil está asociado a valores de densidad aparente baja de 0.45 a 0.75 g/cc, la porosidad total generalmente alta. es muy uniforme en todo el perfil oscilando de 70 a 82 % Birrel, (1964). Birrel y Fieldes, (1952) citan como característica la textura migajosa, oscilando desde moderadamente gruesa hasta moderadamente fina, la dispersión de la arcilla es difícil debido a la presencia de coloides amorfos en el suelo, los cuales tienen un punto isoelectrónico más alto que el usual en minerales cristalinos y el contenido de hidróxidos que inducen a una mutua coprecipitación.

## 3. Propiedades químicas

En los suelos de Ando la materia orgánica se descompone lentamente, esto se debe al predominio de las moléculas orgánicas de bajo peso molecular llamados ácidos fúlvicos, los cuales participan activamente en las reacciones de intercambio catiónico de 350 a 600 meq/100 gr de suelo, esto es un reflejo de su alto grado de disociación y de la gran cantidad de grupos ácidos R-COOH activos, la alta rapidez de descomposición de la materia orgánica disponible y la alta población microbiana conduce a la retención temporal de los fosfatos inorgánicos sobre el tejido microbiano Fassbender, (1975).

Los ácidos húmicos y fúlvicos forman complejos quelatantes con el  $Fe^{++}$  y  $Al^{+++}$ , pero no lo hacen con el  $Ca^{++}$  además, los ácidos húmicos tienden a precipitar en el momento de la formación del complejo con los cationes trivalentes mientras que los ácidos fúlvicos forman quelatos solubles en agua, ( de acuerdo a lo mencionado por Kawaguchi, 1960 citado por Castillo, (1975).

Los pH de éstos suelos varían desde ácidos hasta cercanos a la neutralidad, los suelos inmaduros ó semimaduros tienen valores de 5.0 a 6.0, debido a que el alofano ejerce una fuerte capacidad amortiguadora en la región de su punto isoeléctrico y la alta capacidad de geles de alumina polimerizados. Cuando los suelos se lavan excesivamente el pH llega a 4.5 y cuando contienen apreciables cantidades de montmorillonita el pH es casi neutro.

Hay una notable influencia de la acidez del suelo sobre las siguientes propiedades: Disponibilidad del fósforo, solubilidad de micronutrientes, actividad microbiana, toxicidad por  $Al^{+++}$ ,  $Na^+$ ,  $Mn^{++}$  y  $Fe^{+++}$ . Se presentan deficiencias de fósforo en las plantas que crecen en estos suelos, la cual se atribuye a la fijación de éste elemento por la fracción activa (alofano) de estos suelos transformándolo en sales de fósforo insoluble.

Wright, (1964) Birrel y Fieldes, (1950) Cervantes y Aguilera, (1965) concuerdan en afirmar que la fracción arcilla con denominación de alofano tienen una alta C.I.C.T

Aguilera, (1963) la C.I.C varía de 15 a 60 meq/100gr de suelo y Kobo, (1964) de 30 a 60 meq/100 gr de suelo para el horizonte superficial A, estos valores se deben al alto contenido de humus y alofano.

En estos suelos se presenta una acumulación de materia orgánica en su parte superior de 5 a 20 % un alto contenido de N en forma estable de 0.2 a 0.7 % lo que produce una relación C/N mucho más alta que para otros suelos, la cual decrece cuando la materia orgánica es humificada y aumenta cuando el N es mineralizado y perdido (Aguilera, 1965 y Birrel, 1964).

Aguilera, (1965) los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen un alto contenido de materia orgánica de 5 a 20 % en los primeros 30 cm, tienen un pH que fluctúa entre 4 y 6.5

La fracción arcilla de estos suelos muestra una relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  que varía de 1 a 4.5, la saturación de bases cambiables e intercambiables domina el calcio le sigue el magnesio, tienen alto contenido de aluminio intercambiable que junto con el alofano son los responsables en gran parte del alto poder para fijar fosfatos y molibdatos Swindale, (1969).

#### 4. Propiedades mineralógicas

La susceptibilidad de alteración de los minerales primarios tiene el siguiente orden: los vidrios volcánicos se alteran primero, los más básicos antes que los más ácidos, a continuación las epidotas y plagioclasas sobre todo las más cálcicas; le siguen, los piroxenos a excepción de la hiperstena y los feldespatos potásicos, que con el cuarzo, magnetita e ilmenita constituyen minerales más resistentes que se encuentran en andosoles maduros. Los minerales secundarios se forman por la alteración de cenizas volcánicas en condiciones de buen drenaje y humedad, se considera en general que en los suelos jóvenes predomina la alofana mientras que en andosoles maduros abunda la haloisita de 10 a 7 Å<sup>o</sup> (Birrel), 1964 y Aomine y Wada, (1959).

Shoji, et al (1962), a partir del estudio químico y mineralógico de las fracciones arena y limo llegan a la conclusión de que los materiales originales más importantes como fuente de los principales elementos químicos son: el vidrio volcánico, CaO, Na<sub>2</sub>O. El vidrio volcánico y minerales pesados dan lugar al Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; la alteración del vidrio volcánico y la formación de abundantes minerales 1:1, está muy relacionada con la movilidad de los elementos químicos especialmente SiO<sub>2</sub>, MgO y K<sub>2</sub>O.

En la fracción arena, encontramos vidrios volcánicos, ópalo, plagioclasas, biotita, olivino, piroxenos, anfíbolos, silicatos y cuarzo; en la fracción fina (partículas de suelo de 0.2 a 0.02 mm de diámetro según el USDA) de los suelos de ando, incluye en términos generales, minerales primarios como el cuarzo, plagioclasas, fragmentos de vidrio volcánico u ópalos y algunos minerales como el olivino, biotita, hiperstena, augita, hornblenda y magnetita principalmente Aguilera, (1969), Birrel, (1964) y Palencia y Martini, (1970).

La fracción limo, presenta minerales primarios y secundarios constituidos principalmente por vidrios volcánicos ; plagioclasas, alofano, cuarzo y feldespatos y cierta proporción de alofano como mineral secundario constituyendo los "Pseudolimos" Duchaufour, (1984).

Las propiedades mineralógicas de los andosoles están básicamente determinados por la fracción arcillosa amorfa (alofano), este material se origina por la meteorización del vidrio volcánico (componente esencial de la ceniza), y los diferentes estados de intemperización del suelo Sesozin, (1963). Varios autores conciben en afirmar que el alofano se forma por varios mecanismos a partir de la coprecipitación de soluciones ó geles que contengan alta proporción de sílice y alúmina liberados de materiales primarios y es amorfo a los rayos X existe otro coloide desconocido de baja cristalinidad, llamado imogolita. Otros constituyentes de la fracción arcillosa son: la haloisita, caolinita, illita, montmorillonita, vermiculita, gibsita, palagonita, algunos óxidos e hidróxidos de fierro, limonita, goethita, aluminio, sílice, titanio (amorfo y cristalino) clorita, mica, feldespatos, cristobalita y hornblenda.

Aguilera, (1965) indica que en los suelos de ando también existen altos contenidos de aluminio intercambiable, que junto con el alofano son factibles de combinarse con los ácidos húmicos y fúlvicos e inhiben la actividad de los microorganismos, el contenido de  $Al^{+++}$  y alofano presentes en los suelos son responsables en gran parte de la fijación de grandes cantidades de fósforo, es por esto que para que se utilicen con fines agrícolas requieren un manejo adecuado.

Birrel y Gradwell, (1952) indican que el alofano interviene a través de dos mecanismos; de adsorción diferentes en la naturaleza, el electrostático y el físico, siendo este último el responsable de la mayor ó menor capacidad de intercambio catiónico aparentemente alta.

Swindale, (1969) citado por Castillo, (1975) indica que el alofano presenta a un grupo de minerales arcillosos amorfos, en los cuales los tetraedros de sílice y los octaedros de alúmina se disponen irregularmente. Los estudios realizados sobre la floculación del alofano en condiciones ácidas y empleando aniones

mono y divalentes registran su gran actividad en la adsorción de aniones orgánicos en condiciones ácidas.

#### 5. Suelos Cafetaleros

Los suelos dedicados al cultivo de café tienen diferente origen, pero los cafetos de alta calidad necesitan crecer en suelos derivados de cenizas volcánicas y suelos de origen aluvial que al parecer reúnen condiciones excelentes para el cultivo, se caracterizan por ser suelos profundos con buenas características físicas y altos en bases intercambiables, la textura del suelo y su profundidad tienen una gran importancia ya que el cafeto posee un sistema radicular que alcanza gran extensión, ésta característica le permite aprovechar un volumen de suelo muy considerable y contrarrestar así una relativa pobreza de elementos fertilizantes. En suelos compactos ó poco profundos, el tallo queda corto y las raíces no se extienden más que en los horizontes superficiales, en un espacio que raramente sobrepasa los 30 cm. Es claro que en estas condiciones, todo cultivo intensivo exige un aporte de fertilizantes Coste, (1969).

Gaus, (1969) con relación a la acidez del suelo, parece que el cafeto, prefiere una reacción ligeramente ácida es decir un pH de 6.0 a 6.5 sin embargo, se pueden obtener excelentes cosechas en suelos muy ácidos siempre y cuando las propiedades físicas sean las satisfactorias y con una gran cantidad adecuada de calcio y otros elementos esenciales, sin embargo se sabe que en la mayoría de los casos un pH bajo indica un contenido pobre en nutrimentos disponibles para la planta.

La adaptabilidad del cafeto a la reacción del suelo se pone de manifiesto por el hecho de que es cultivado con éxito, no solamente a valores de acidez alta sino que también en suelos alcalinos con un pH de 8.0 ó mayor Forestier, (1960). Los micronutrimentos que se encuentran disponibles en el suelo con un pH que va de 5.0 a 6.5 son  $Mn^{++}$ ,  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$  y  $BO_3^{=}$  Truog, (1951).

El cafeto se ha observado que crece mejor en suelos profundos, porosos y bien drenados Rochac, (1964) mientras que los suelos con excesiva porosidad, con subsuelo permeable y poco distante de la superficie que recubren las aguas ó

las rocas sólidas, no son adecuadas para la obtención de buenas cosechas.

#### 6. El Cafeto

Las diferentes **regiones** cafetaleras determinan que el cultivo de café no es igual en otras partes del mundo. Las variedades del género Coffea muestran un amplio rango de adaptabilidad, con respecto a la nutrición y renovación de las plantaciones en forma racional, produce buenas cosechas siempre y cuando la influencia de los demás factores que afectan la producción estén en equilibrio; por ejemplo las deficiencias hídricas con un régimen de lluvias de 3000 mm don de prácticamente no existe estación seca, el control de las malas hierbas, época de recolección de frutos y requerimientos de sombra, dependen de la calidad, a menudo el café tiende a adaptarse a condiciones ambientales específicas. El cultivo de café bajo sombra, se practica en países de América Central, Colombia y México, en Brasil, Hawaii y Kenia se cultiva en solana, refiriéndose a cultivo de café a pleno sol Costa, (1965).

Para Coffea arabica, un sombreado ligero (40 %) influye notablemente en los cafetos, en tanto que la sombra excesiva (75%) causa una disminución del crecimiento, porque cuando el cafeto crece en pleno sol, usa sus reservas rápidamente y los frutos a menudo no se desarrollan bien por insuficiencia de minerales, además con frecuencia ocurren la muerte. De las especies del género Coffea, la arabica es más exigente en nutrimentos cuando se cultiva en el sol, este comportamiento incide en la longevidad de los arbustos pues las plantaciones al sol, por lo general deben ser renovadas en un corto plazo, en comparación con aquellas que se cultivan bajo la sombra, los demás factores de manejo que son los responsables de la producción, influyen en ambos sitios de manera semejante Machado, (1946).

Bajo condiciones de manejo adecuado del cafetal, con fertilizantes y bajo cultivo de solana ó a pleno sol, la producción de la cosecha es más abundante, el cafeto bajo sombra reduce sus necesidades en nutrimentos debido a la menor actividad fotosintética en las plantas, estas observaciones se refieren al uso de la sombra en regiones cercanas al Ecuador.

El uso de la sombra favorece la fertilidad del suelo por varias razones: en primer lugar, el ambiente donde se desarrolla el cafeto la temperatura del suelo disminuye, lo que reduce la pérdida del nitrógeno que se registra a altas temperaturas como consecuencia de la descomposición rápida del humus; se disminuye el lavado de nutrimentos como consecuencia de la precipitación, los árboles de sombra tienen acción fertilizante por la agregación de la materia orgánica y el aporte de nitrógeno por las especies de leguminosas del género Inga Coste, (1955).

Minerales que contienen micronutrientes.

#### Fe

Oxidos: hematita  $Fe_2O_3$ , goethita  $FeOOH$ , magnetita  $Fe_3O_4$   
Sulfuros: pirita  $FeS_2$   
Carbonatos: siderita  $FeCO_3$   
Sulfatos: jarosita  $KFe_3(OH)_6(SO_4)_4$   
Olivino:  $(MgFe)_2SiO_4$ ,  $Fe_4SiO_4$

#### Mn

Oxidos simples: pirolusita  $MnO_2$ , hausmanita  $Mn_3O_4$ , manganita  $MnOOH$   
Oxidos complejos: braunita  $(Mn, Si)_2O_3$   
Carbonatos: rodocrosita  $MnCO_3$   
Silicatos: rodonita  $MnSiO_3$

#### Zn

Oxidos: willemita  $Zn_2SiO_4$   
Sulfuros: esfalerita  $ZnS$   
Carbonatos: smithsonita  $ZnCO_3$   
Silicatos: hemimorfita  $Zn_4(OH)_2Si_2O_7 \cdot H_2O$

#### Cu

Oxidos: cuprita  $Cu_2O$ , tenorita  $CuO$   
Sulfuros simples: calcocita  $Cu_2S$ , covelita  $CuS$

Sulfuros complejos:	calcopirita $\text{CuFeS}_2$ , bornita $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$
Carbonatos:	malaquita $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ , azurita $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$
Silicatos:	crisocola $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

### 1. Abundancia de microelementos

#### a. En la corteza terrestre

El hierro en forma divalente ó trivalente es alto en los primeros kilómetros de la corteza terrestre llegando a 3.10 y 3.71 % en forma de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{FeO}$  respectivamente, con respecto al manganeso su contenido es de 3.45 % en forma de  $\text{MnO}$ . Clarke, (1924).

#### b. En las rocas

El contenido de fierro en las diferentes rocas depende del grado de acidez de las mismas y en el caso de las rocas sedimentarias debido a su origen, el contenido de fierro aumenta en las rocas básicas en comparación con las ácidas, el manganeso es importante en la composición de la roca madre, en las ígneas presenta un contenido promedio que oscila entre 0.11 a 0.14 %, el contenido de cobre y zinc en rocas ígneas es de 55 a 70 ppm, mientras que en rocas sedimentarias oscilan entre 5 y 45 ppm, para el cobre y entre 10 y 100 ppm para el zinc. Las rocas ígneas presentan los mayores contenidos de elementos pesados dentro de la roca madre del suelo, esto es explicable pues a través de los procesos de meteorización se libera una fracción de elementos que se acumulan en los sedimentos que constituyen otras rocas.

El contenido de fierro, manganeso, zinc y cobre varían en los diferentes minerales primarios, el fierro es relativamente alto en comparación con los otros elementos, le sigue el manganeso. El zinc y el cobre sólo alcanzan unas pocas partes por millón, el fierro es constituyente importante de los minerales primarios, su contenido va de 11.0 a 11.9 % para la biotita y el olivino, el manganeso es componente importante de la biotita de 0.51 %, los minerales más en cobre y zinc son olivino, horblenda, augita y biotita Faabender,

(1981).

c. En suelos

El suelo actúa como un reservorio natural de micronutrientes, para la nutrición de los microorganismos del suelo, del hombre y los animales, estos elementos se encuentran en los minerales que forman las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias de las cuales mediante procesos de intemperismo se liberan y son transportados por el agua ó aire, acumulándose así en los suelos, también se liberan de los restos vegetales, de la materia orgánica, bajo la forma de complejos. La presencia de los micronutrientes en algunos minerales se explica por la sustitución isomórfica, mediante la cual un ión puede ser substituido por otro siempre y cuando ambos iones tengan un radio iónico semejante en tamaño, como sucede en los minerales que contienen hierro ó manganeso (con un radio de 0.83 y 0.78 Å respectivamente como los feldespatos y plagioclasas ricas en calcio citado por Guajardo, (1979).

Los contenidos de fierro y manganeso en los suelos son relativamente altos en comparación con los de zinc y cobre, los contenidos de  $Fe_2O_3$  en el suelo varía entre 1 y 1.75 %, el manganeso se encuentra de 100 a 4000 ppm, para el cobre de 2 a 100 y para el zinc de 10 a 300 ppm. Allaway, (1968).

El contenido total de los elementos pesados es más alto en el horizonte húmico del suelo, debido a la acumulación en los residuos vegetales, sin embargo a través de procesos de translocación del perfil del suelo, se produce una acumulación de estos elementos a diferentes profundidades del perfil.

Los micronutrientes en los suelos forman parte: De la estructura de los minerales primarios y secundarios presentes en los suelos, de las formas precipitadas como óxidos e hidróxidos especialmente para fierro y manganeso, de la materia orgánica formando quelatos, del complejo coloidal (superficie de arcillas y materia orgánica) y en la solución del suelo. El zinc y el fierro muestran una fracción asociada a la materia orgánica y a los fosfatos del suelo, las fracciones solubles en agua de zinc y cobre son bastante pequeñas, se encuentran preferentemente en forma de quelatos que son estructuras químicas cíclicas en las cuales un átomo metálico ( $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$  y  $Zn^{++}$ ) central satisface

Abundancia de micronutrientes en la corteza terrestre rocas y suelos

Elemento	Corteza	Rocas ígneas		Rocas sedimentarias			Suelos
		Granito	Basaltos	Caliza	Arena	Esquisto	
p p m							
Fe	56.000	27.000	86.000	38.000	9.800	47.000	10.000 - 100.000
Mn	950	400	1.500	1.100	X0*	850	20 - 3.000
Zn	70	40	100	20	16	95	10 - 300
Cu	55	10	100	4	30	45	10 - 80
Mo	1.5	.2	1	0.4	0.2	2.6	0.2 - 10
B	10	15	5	20	35	100	7 - 80

CUADRO 1 Abundancia de micronutrientes en la corteza terrestre, rocas y suelos

Taylor, (1964) para corteza y rocas ígneas, Tuyekian y Wedepohl, (1961) para suelos, recopilación de muchas fuentes X0\* entre 10 - 100

2. Abundancia y disponibilidad de los micronutrientes  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$ .

#### COBRE.

El  $\text{Cu}^{++}$  se encuentra en la roca madre en forma de calcopirita del cual ha surgido probablemente de depósitos naturales de sulfuros de hierro, aunque se puede encontrar en los minerales tales como: olivino  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ , hornblenda  $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Al}, \text{Fe})(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{22}$ , augita  $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$ , biotita  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , anortita  $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ , albita  $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$  y ortoclasa  $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ .

El cobre se encuentra en los suelos en forma de sulfatos, brechantita  $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$ , óxidos; cuprita  $\text{Cu}_2\text{O}$  y tenorita  $\text{Cu}$ , carbonatos; malaquita  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  y azurita  $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ , sulfuros simples; calcocita  $(\text{Cu}_2\text{S})_4$  y covalita  $(\text{CuS})$ , sulfuros complejos; calcopirita  $\text{CuFeS}_2$ , bornita  $(\text{Cu}_5\text{FeS}_4)$ , enargita  $(\text{Cu}_3\text{AgS}_4)$  y tetraedrita  $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{Si}_3$ , silicatos; crisocola  $(\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ .

El contenido de cobre total en la mayoría de los suelos varía de 10 a 80 ppm (Tayekian y Wedopoo, 1961).

La disponibilidad del cobre en suelos para las plantas es realmente bajo solo 10 ppm del peso seco de la planta es cobre. Ortega, (1964).

En los suelos minerales el cobre total debe exceder de 4 a 6 ppm y para suelos orgánicos de 20 a 30 ppm (Tobia y Hanna, 1959). La materia orgánica juega un papel importante en la renovación del cobre soluble de la solución del suelo, pero éste aparentemente no cambia en forma considerable a nivel crítico ya que la lixiviación del cobre es insignificante, una sola aplicación al suelo podrá proporcionar todos los requerimientos de cobre para las plantas por muchos años. El cobre es absorbido por las plantas en forma de ión cúprico  $\text{Cu}^{++}$  y puede ser absorbido como una sal de un complejo orgánico como el EDTA (etil diamino tetraacético). El cobre en la planta actúa como portador de electrones en enzimas metálicas que producen reacciones redox, intermedio en la oxidación directa del sustrato por el oxígeno molecular debido a que se oxida y reduce en forma reversible de cúprica  $\text{Cu}^{++}$  a cuprosa  $\text{Cu}^+$ , regula la respiración y ayuda en la utilización del  $\text{Fe}^{++}$ , es un metal activador de varias enzimas entre las

las cuales estan la lacasa, oxidasa del ácido ascórbico, citocromo oxidasa, butil Co A, dehidrogenasa, polifenol oxidasa que actúan en los procesos de óxido reducción, la oxidasa es la enzima respiratoria que en la papa llega a contener hasta 0.165 % de  $\text{Cu}^{++}$  Ortega, (1969).

Tanto en el suelo como en la planta el Cobre es inmóvil, Corey, (1964) indica que los factores que afectan el comportamiento del  $\text{Cu}^{++}$  en los suelos son: materia orgánica, textura y pH. Las deficiencias de  $\text{Cu}^{++}$  se presentan en suelos orgánicos ya que forma complejos solubles, pero la mayoría son insolubles y muy estables a pH alto lo que puede atribuirse al aumento en la ionización de los grupos funcionales especialmente los carboxilos.

En la retención del  $\text{Cu}^{++}$  por la materia orgánica se involucran los grupos fenólicos y carboxílicos Schnitzer, (1968). Con respecto a la textura del suelo el  $\text{Cu}^{++}$  puede ser retenido por la fracción coloidal ó bien adsorbido en la superficie del  $\text{CaCO}_3$ , la retención del  $\text{Cu}^{++}$  en la mayoría de los suelos está afectada por el pH siendo muy fuerte entre 7.0 a 8.0 y menos alta a pH de 6.0. El cobre en forma divalente se adsorbe fuertemente a las partículas de arcilla de una forma intercambiable, formándose complejos orgánicos y inorgánicos estables de cobre en la solución del suelo generalmente con valores bajos, un contenido mayor de 1 ppm es tóxico para los microorganismos del suelo. En suelos bien aireados y de pH alto, la disponibilidad del  $\text{Cu}^{++}$  disminuye cuando está presente gran cantidad de fósforo ya que se forman fosfatos de cobre. El  $\text{Cu}^{++}$  no se absorbe fácilmente en forma de complejos orgánicos, esto explica las deficiencias de cobre en algunos suelos ricos en humus (Sutcliffe y Baker, 1978).

Jackson, (1956) y Bingham Page y Smith, (1965) citan que la montmorillonita es capaz de adsorber el  $\text{Cu}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  más allá de su capacidad de intercambio catiónico cuando el pH es casi neutro ó alcalino, esto puede ser explicado a través de dos mecanismos: la adsorción de las formas hidrolizadas ó la precipitación de los hidróxidos  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  ó  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

Menzel y Jackson, (1952) sugirieron que el  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  era la forma adsorbida por los minerales de arcilla, Gabaly y Jenny, (1943) indican que todo el  $\text{Zn}^{++}$  adsorbido por la montmorillonita puede ser removido por la extracción con sales

neutras, debido a que ésta había entrado a la capa octaédrica de la montmorillonita, la montmorillonita-Ca y turba-Ca pueden acumular  $Zn^{++}$  ó  $Cu^{++}$  en soluciones neutras muy diluidas ya fuese en presencia ó ausencia de iones de  $Ca^{++}$ , además se consideró que la montmorillonita y turba tienen sitios activos de intercambio para el  $Cu^{++}$  y  $Zn^{++}$  De Mumbrum y Jackson, (1956).

Los grupos carboxilo y fénolico unidos a compuestos heterocíclicos en extracto de materia orgánica del suelo, son grupos funcionales importantes para la inhibición del  $Cu^{++}$  Broadbert y Bradford, (1952).

Los síntomas de deficiencia varían con el cultivo; en maíz las hojas jóvenes se vuelven amarillas y las hojas viejas mueren, en estado avanzado aparecen tejidos muertos a lo largo del borde de las hojas, la deficiencia de  $Cu^{++}$  provoca la deficiencia de  $Fe^{++}$  especialmente en los nudos; las hojas de hortaliza pierden la turgencia presentando una coloración verde azulada ó bien se vuelven cloróticas y se enrollan.

El rango normal de  $Cu^{++}$  en los tejidos vegetales es de 5 a 20 ppm cuando la concentración de  $Cu^{++}$  en las plantas es menor de 4 ppm en la materia seca, lo más probable es que ocurra una deficiencia; cuando los niveles exceden 20 ppm en las hojas maduras, se puede presentar toxicidad Chapman, (1966) y Jones, (1967)

Los primeros síntomas de deficiencia en el manzano se manifiestan en forma de manchas cafés en las hojas terminales seguidos de áreas necróticas, acentuándose después en las hojas jóvenes posteriormente desarrolladas hasta que al fin las puntas de los brotes mueren en una longitud que varía de 7 a 30 cm. Normalmente la planta contiene de 8 a 20 ppm cuando se presentan deficiencias se tiene menos de 6 ppm, Dunne, (1945).

La aplicación de materiales que contienen cobre para controlar los insectos y enfermedades pueden enmascarar el valor del cobre en los análisis de plantas a menos que el follaje sea cuidadosamente lavado.

Jones y Mederski, (1964) encontraron que el cobre en las hojas de soya disminuyó dramáticamente durante los primeros diez días de crecimiento permaneciendo constante hasta la madurez conteniendo 13 ppm de cobre, mientras que los tallos contenían 7 ppm.

Las observaciones que se efectuaron acerca de las deficiencias severas de  $\text{Cu}^{++}$  fueron inducidas mediante la aplicación de 180 ppm de fósforo en nueve suelos de California, las aplicaciones de cobre corrigen síntomas e incrementaron el crecimiento de cítricos, se utilizaron fuentes de fósforo como:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  todos ellos en forma de grado reactivo analítico.

Estos mismos autores sugieren que el  $(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$  reduce la disponibilidad para las plantas de  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$  y  $\text{SO}_4^{--3}$  en suelos ácidos, pero se incrementa la disponibilidad del  $\text{Mn}^{++}$ , esto se encontró en hojas de cítricos creciendo en suelos excesivamente fertilizados con fósforo mostrando severas deficiencias de  $\text{Cu}^{++}$  y una reducción grande en los niveles de  $\text{Zn}^{++}$ , sin embargo la disponibilidad para las plantas de  $\text{Mn}^{++}$  fue grande cuando se aplicaron dosis altas de fósforo particularmente en forma de  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ .

La toxicidad del  $\text{Cu}^{++}$  se presenta en suelos que han recibido aplicaciones excesivas de este metal en forma de fertilizante ó aspersiones como fungicidas entre los cultivos. Es necesario fertilizar con cobre los cultivos como: remolacha roja, zanahoria, maíz, avena y algunos árboles frutales.

El  $\text{Cu}^{++}$  en grandes cantidades es tóxico para la planta, ya que disminuye la actividad del  $\text{Fe}^{++}$  provocando clorosis férrica en los cítricos Chapman, Leibing y Vanselow, (1940).

More et al, (1957) encontraron que el crecimiento de la lechuga a cualquier nivel de  $\text{Cu}^{++}$  era afectada por el suplemento de  $\text{Fe}^{++}$ , los efectos tóxicos del  $\text{Cu}^{++}$  con un nivel elevado de  $\text{Fe}^{++}$  fueron disminuidos.

Cheshire, Debeck e Inkson, (1967) demostraron que la deficiencia de  $\text{Cu}^{++}$  en suelos con alto contenido de materia orgánica era debido a que el  $\text{Cu}^{++}$  se adsorbe a la materia orgánica formando quelatos, la aplicación de  $\text{Fe}^{++}$  reduce la asimilación y concentración del  $\text{Cu}^{++}$  en la planta de avena únicamente cuando el  $\text{Cu}^{++}$  había sido aplicado a turba.

PROTEINAS	PLANTAS
PLASTOCIANINA	<u>Chorella</u> sp, <u>Chenopodium</u> sp, <u>Spinaca</u> sp
DIOXIGENASA	<u>Aspergillus flavus</u>
ESTELACIANINA	<u>Rhus vernicifera</u>
LACCASA	<u>Rhus</u> sp, <u>Polyporus versicolor</u>
POLIFENOLOXIDASA	<u>Agaricus</u> sp.

Cuadro 2. Cuproproteinas en plantas, citado por Vallee y Walker, (1970).

#### FIERRO

Se encuentra en los minerales de las rocas ígneas básicas como en el olivino, hornblenda, biotita, magnetita, ilmenita y turmalina y en las rocas sedimentarias como impurezas bajo la forma de óxidos, carbonatos y sulfuros.

El hierro es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre donde su concentración en el suelo varía entre 2 y 6 % aunque puede llegar hasta 60 % de  $Fe_2O_3$  en suelos laterita, los iones de  $Fe^{++}$  liberados a través de los minerales primarios forman varios compuestos como carbonatos, sulfatos, fosfatos y óxidos en combinación con la materia orgánica forman quelatos, entre los compuestos que contienen fierro tenemos:  $Fe_2O_3$  (magnetita),  $FeO(OH)$  (goethita),  $FeO(OH)$  lepidocrita,  $Fe_3O_4$  (magnetita),  $FeCO_3$  (siderita),  $FeS_2$  (pirita)  $FeS$  (sulfato de Fe),  $FePO_4 \cdot 2H_2O$  (estregnita),  $Fe_3PO_4 \cdot 8H_2O$  (vivianita).

El hierro puede ser absorbida por las raíces de las plantas en forma ferrosa aunque también lo puede absorber en forma férrica. El ión férrico es soluble desde pH 3 hasta un poco más arriba de 5, quedando disponible para las plantas, a pH neutro predomina el ión ferroso y a pH cercano a 8 sigue siendo soluble como humato de  $Fe^{++}$ , también se encuentran complejos cargados negativamente como:  $Fe(OH)_4^-$  que es muy soluble Davies, (1980).

Lucas y Davis, (1969) observaron que la actividad del  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$  y  $Al^{+++}$  incrementaban la acidez del suelo, en general el pH óptimo para el desarrollo de

La mayoría de las plantas es de 6.0 a 6.8 en este rango no hay deficiencias ó excesos de  $Fe^{++}$  y  $Mn^{++}$  disponibles. Las plantas en suelos orgánicos crecen mejor a valores de pH algo más bajos tomando ventaja de más  $Mn^{++}$  disponible, los suelos orgánicos tienen menos  $Al^{+++}$  y  $Fe^{++}$  total y mayor  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  que los suelos minerales al mismo pH. La disponibilidad del  $Mn^{++}$  en suelos casi neutros ó calcáreos puede también ser reducido por la acción de la microflora que oxida al  $Mn^{++}$  Lewis y Quick, (1967) el ambiente cercano a la superficie de la raíz juega un papel de gran importancia en la disponibilidad y absorción de los nutrimentos.

Rovira et al, (1962) mencionan que las puntas de la raíz están rodeadas por una substancia gelatinosa con compuestos orgánicos que pueden promover la actividad microbiana, los exudados de las plantas así como los subproductos microbianos forman complejos. La importancia del  $Fe^{++}$  para las plantas, se debe a su papel como catalizador en la formación de la clorofila y a su presencia en ciertos sistemas enzimáticos, en donde funciona a través de su oxidación y reducción reversible ( $Fe^{++} \rightleftharpoons Fe^{+++}$ ), podemos citar entre ellos a los transportadores de electrones, en la respiración denominados citocromos y a las enzimas catalasa, peroxidasa y oxidasa.

En general cuando los valores de  $Fe^{++}$  son de 50 ppm o menores, en la materia seca, es muy factible que se presenten deficiencias; el rango de suficiencia parece ser de 50 a 250, ppm de  $Fe^{++}$ . La toxicidad de  $Fe^{++}$  no ha sido reportada para las plantas creciendo bajo condiciones naturales.

Gorsline et al, (1965) encontraron valores de  $Fe^{++}$  de 350 ppm en plantas jóvenes de maíz, los cuales disminuyeron a menos de 100 ppm justo antes de la floración. El  $Fe^{++}$  tiende a acumularse en cierto grado en los márgenes de las hojas de maíz (Jones, 1970).

El citrato es el principal compuesto involucrado en mantener el  $Fe^{++}$  móvil en las plantas. El citrato férrico ha sido identificado en los exudados del xilema de girasol y soja, este citrato se liga a un número de metales divalentes, pero éstos no son mantenidos tan fuertemente como al  $Fe^{+++}$ , se sugiere que el

citrato está presente en exceso con respecto al  $Fe^{++}$ , la cual puede servir también en la translocación de otros metales en las plantas Tiffin y Brown, (1961), Hude et al, (1963) identificaron la ferritina (fitoferritina) en los cotiledones de chícharo no germinado y en los extractos de frijol. Se propone que la ferritina en las hojas representa una reserva de  $Fe^{++}$  que es utilizada en los plastidios en desarrollo para sus necesidades fotosintéticas y que las reservas de ferritina de los cotiledones son movilizadas en el desarrollo del eje embrionario en las plántulas jóvenes.

Los gránulos de fitoferritina se encuentran en los leucoplastos de las raíces de frijol, sin embargo Roburds y Humpherson, (1967) encontraron ferritina en las zonas del cambium de sauce. La fitoferritina es una reserva de  $Fe^{++}$  en forma no tóxica que se vuelve disponible para las células en desarrollo Newcomb, (1967).

Fordman, (1969) menciona que la adsorción de  $Fe^{++}$  por la caolinita bajo condiciones que excluyan la precipitación era afectada por el contenido de  $Fe^{++}$  original presente en las arcillas, la cantidad de  $Fe^{++}$  adsorbido depende del pH: a pH de 2.0 a 2.7 la cantidad de  $Fe^{++}$  adsorbido estaba en relación con la concentración de  $Fe_{OH}$  en la solución y a pH de 2.7 a 3.5

Ambler, Brown y Gauch, (1970) observaron que la absorción de  $Fe^{++}$  está relacionada con la capacidad de la raíz de reducir el  $Fe^{+++}$  a  $Fe^{++}$  y que ésta reducción parece ser obligatoria antes de que el  $Fe^{++}$  pueda ser absorbido.

El hierro parece poco móvil en las plantas, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas nuevas con coloraciones pálidas en el tejido intermerval, porque el  $Fe^{++}$  no es transportado de las partes más viejas, a las más jóvenes para satisfacer las necesidades en los tejidos en crecimiento activo. Esta deficiencia puede ocurrir en suelos con exceso de carbonatos de calcio, suelos neutros y suelos ácidos arenosos. La presencia de carbonatos puede impedir el aprovechamiento del  $Fe^{++}$  existente en el suelo, produciéndose como consecuencia la clorosis. Esto es frecuente en las regiones semiáridas donde el agua puede contener carbonatos en abundancia; la deficiencia de  $Fe^{++}$  es aumentada por el exceso de  $Zn^{++}$  y  $Mn^{++}$  ya que estos hacen que el  $Fe^{++}$  se precipite en forma de

óxidos a pH alto. Una elevada concentración de  $Fe^{++}$  es más común en suelos altamente ácidos ó suelos que tienen poca aereación, en tales casos puede haber problemas de toxicidad.

Buidulph, (1953) observo que la interacción de Fe y P origina una clorosis férrica causada por la inmovilización interna de  $Fe^{++}$  debido probablemente a formación de fosfato de hierro.

Rediake y Biddulph, (1953) encontraron que el  $Fe^{++}$  se concentra en las venas de las hojas de frijol cuando la solución nutriente tiene concentraciones medias ó elevadas de P a un pH cercano a 8.0

Martell, (1957) indica que el P puede ser considerado como un ligado que compete con el agente quelatante por el ión metálico. Brow y Tiffin, (1973) aportaron una fuerte evidencia de que las raíces de soja reducían el  $Fe^{+++}$  EDDHA a  $Fe^{++}$  antes de que se llevara a cabo la captación de  $Fe^{++}$ , este mecanismo parece ser operativo para la mayoría de las plantas.

Mass, (1967) menciona que el  $Fe^{++}$  disminuye la absorción de  $Mn^{++}$  en las raíces de cebada, pero el  $Fe^{+++}$  no tiene ningún efecto, lo mismo sucedió con el  $Zn^{++}$   $Cu^{++}$ ,  $Na^{+}$  y  $K^{+}$  que reducían la absorción del  $Mn^{++}$ .

Stout y Jones, (1959) encontraron que el  $Mn^{++}$  y  $Mo^{++}$  eran capaces de afectar la disponibilidad de  $Fe^{++}$  en las plantas de tomate a medida que el  $Mo^{++}$  se iba incrementando de 0.067 a 6.70 ppm originando una clorosis férrica, aunque el contenido de  $Fe^{++}$  era constante sugirieron que el  $Mo^{++}$  acentuaba la deficiencia de  $Fe^{++}$  debido a la formación de molibdatos de hierro en las raíces.

#### MANGANESO

El manganeso fué identificado en rocas, suelos y cenizas de plantas Gahn, (1974) ; en Holanda se inició su uso como fertilizante y en 1912, Mc Hargue en Kentucky demostró la necesidad de este elemento en las plantas.

El manganeso forma parte de los micronutrientes esenciales para las plantas se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, principalmente en los minerales como el olivino, hornblenda, augita, biotita y en las rocas sedimentarias como la aragonita, bajo condiciones aeróbicas de los iones son oxidados a sustancias amorfas ó cristalinas de color marron negrusco ó negro, entre

los más importantes se encuentran en forma de óxidos como la braunita  $(Mn, Si)_2O_3$ , pirolusita  $(MnO_2)$ , hausmanita  $(Mn_3O_4)$ , pirocrita  $Mn(OH)_2$ , manganita  $(MnOOH)$  y carbonatos como la rodocrosita  $(MnCO_3)$ . Entre los diferentes óxidos e hidróxidos de Mn, se producen equilibrios redox de acuerdo a las valencias de este elemento; el manganeso divalente puede ser oxidado de  $Mn^{++}$  a  $Mn^{+++}$  según el esquema de Dion Mann, (1946).



Fig. 1 Ciclo del manganeso en los suelos Dion Mann, (1946) modificado por Hodgson, (1963).

El contenido de manganeso en los suelos es variable alcanzando valores de 0.02 y 0.08 %, se encuentra en los suelos básicamente como óxidos insolubles puede ser adsorbido por las arcillas mediante intercambio catiónico, bajo condiciones ácidas aumenta considerablemente su solubilidad.

El manganeso también es adsorbido por la fracción orgánica de los suelos y es

quizá mediante este mecanismo que se evita la precipitación de compuestos insolubles de este micronutriente. La fracción orgánica tiene la habilidad de formar compuestos estables con los iones metálicos incluyéndose en estas reacciones numerosos complejos orgánicos con ácidos húmicos y fúlvicos.

Las formas como se encuentran en el suelos son:

- a) Catión divalente  $Mn^{++}$  forma aprovechable por las plantas
- b) Catión trivalente  $Mn^{+++}$
- c) Catión tetravalente  $Mn^{++++}$ , en forma de óxidos inertes muy estables como la pirolusita ( $MnO_2$ ).

La asimilación del manganeso ocurre en dos etapas que son: por vía metabólica una rápida y corta y la otra larga y lenta, el contenido de manganeso en las hojas varía de 20 a 50 ppm según el grado de madurez de éstas. La forma disponible del manganeso es determinada por el pH del suelo y los procesos de óxido-reducción en condiciones ácidas se favorecen las concentraciones de iones manganesos  $Mn^{++}$  que son fácilmente aprovechables para las plantas, en suelos neutros ó ligeramente alcalinos, el manganeso divalente se encuentra en forma de óxidos. Los suelos alcalinos favorecen la presencia de iones mangánicos  $Mn^{+++}$ . Los microorganismos juegan un papel importante en la oxidación del Mn, cuando el pH es cercano a la neutralidad, el metabolismo microbiano puede también incrementar el nivel de  $Mn^{++}$  por reducción, remoción del  $O_2$  ó por la formación de productos ácidos Meek et al, (1968).

En suelos altamente húmedos, la carencia de  $O_2$  promueve el crecimiento de los microorganismos anaeróbicos facultativos; el ión  $Mn^{++}$  es formado a partir del  $Mn^{++++}$  cuando el potencial de óxido-reducción es de 200 a 400 mv y el  $Fe^{++}$  es formado a partir del  $Fe^{+++}$  en el rango de 100 a 300 mv urr, (1969).

Swaine y Mitchell, (1960) observaron que los minerales muestran un aumento en su movilidad en suelos pobremente drenados particularmente de Cu, Mn, Zn y Mo. Taylor, (1970) indica que el drenaje del suelo incrementa la captación de Zn, Cu y S pero disminuye la captación de Fe, Mn y Mo por las plantas.

Tiller, (1963) indica que en los suelos muy húmedos el 95 % del Mn se pierde por lixiviación.

El manganeso es un elemento que interviene como catalizador de varios sistemas enzimáticos especialmente las deshidrogenasa, carboxilasa y fosforilasa, así como en la síntesis de la clorofila, en la respiración y en las reacciones de fosforilación en donde puede ser substituído por otros cationes como el magnesio, cobre, zinc y fierro.

Se sabe que el  $Mn^{++}$  es el responsable de mantener el equilibrio del  $Fe^{++}$  en el metabolismo y en las reacciones de respiración.

Sutton et al, (1966) ha identificado la mangano enzima (piruvato oxidasa) proveniente del hígado de aves. La localización principal de la deficiencia del  $Mn^{++}$  en las plantas es en el fotosistema II de la fotosíntesis, al reducir la formación de carotenos se desarrolla una clorosis moteada. La substitución del  $Mn^{++}$  más frecuente es la que se hace con el  $Mg^{++}$  sin embargo el  $Mn^{++}$  demuestra ser esencial para algunas reacciones del metabolismo de las plantas en el ciclo de Krebs Salisbury, (1969).

El manganeso es activador de la reductasa de los nitritos y reductasa de la hidroxilamina Nason, (1956) y Sedona, (1957).

Goltaire, (1961) y Kenten, (1955) sugieren que el  $Mn^{++}$  interviene en la oxidación del ácido indol 3 acético (IAA), auxina natural de las plantas:

Las exigencias de manganeso por las plantas dependen de la especie, las más susceptibles son las leguminosas (soya) la deficiencia ocurre normalmente cuando su concentración en los tejidos en las plantas es menor de 20 ppm en la materia seca presentandose en forma de manchas negras en los chicharos, amarillas en la remolacha y rayadas en la caña de azúcar, concentraciones amplias pero no excesivas oscilan de 200 a 500 ppm de Mn, los niveles mayores de 500 ppm son probablemente tóxicos para muchas plantas Chapman, (1966) y Jones, (1967). La movilidad del Mn en la planta es mínima originando síntomas de deficiencia que aparecen en las hojas jóvenes, las cuales muestran clorosis internervial. La deficiencia de Mn se ha encontrado a menudo en suelos orgánicos ó minerales pobres en drenaje, la reducción del  $Mn^{++}$  y la subsecuente lixiviación puede ser responsable de los bajos niveles de Mn en el suelo. Así como en suelos encaledos a niveles de pH de 6.2 ó más particularmente cuando son suelos arenos

tos pobres. El uso del MnEDTA acentúa más la deficiencia de  $Mn^{++}$  en los suelos orgánicos con alto contenido de hierro, debido a un reemplazo del hierro por el manganeso en el quelato, el Mn liberado del EDTA es fijado rápidamente en el suelo, en forma no aprovechable. Así mismo la captación del Mn soluble por las plantas es posteriormente disminuida y aumentada en la interacción de Fe-Mn que se acentúa más.

Existe antagonismo entre el cobre, hierro y manganeso, por un lado el manganeso inhibe la absorción del hierro, la toxicidad del manganeso es acentuada en la alfalfa bajo condiciones de alta intensidad luminosa Sutton y Hallsworth, (1958). Los niveles de  $Mn^{++}$  son incrementados cerca de 10 veces con la combinación de alta temperatura y la adición de materia orgánica Takkar, (1969).

Bradford y Harding, (1957) estudiando las hojas de naranja valencia encontraron que el boro, hierro y manganeso tienden a incrementarse con la edad de la hoja mientras que el cobre disminuye.

Labanauskas, Jones y Embleton, (1959) también encontraron que había incrementos estacionales de boro, hierro y manganeso con la disminución de cobre y zinc en las hojas de naranja.

#### ZINC

La fuente más importante de  $Zn^{++}$  es el sulfuro de Zn que se encuentra en el mineral llamado blenda constituyente de las rocas ígneas. El  $Zn^{++}$  se localiza también en los minerales ferromagnesianos como la magnetita, augita, biotita y hornblenda.

El Zinc es un elemento que contribuye poco en la composición total de los suelos ya que la mayoría de los minerales que los contienen se meteorizan con facilidad, la concentración total varía de 10 a 30 ppm de los cuales es disponible de 1 a 10 % para las plantas Surcliffe and Baker, (1978).

Wright, Levick y Atkinson, (1955) observaron que el contenido de zinc es a menudo más elevado en el suelo superficial, esto es causado probablemente por la depositación de residuos vegetales ó por emisiones industriales a la atmósfera y después depositados en la superficie del suelo, que es retenido por los restos vegetales formando quelatos con los ácidos húmicos y fúlvicos.

restos vegetales formando quelatos con los ácidos húmicos y fúlvicos.

Cuando el pH es de 7.0 el 70 % de zinc es retenido por los ácidos húmicos en forma divalente,  $Zn^{++}$ , siendo absorbido por las raíces de las plantas, los factores que afectan la disponibilidad son el pH, contenido de carbonatos, concentración de fósforo y materia orgánica.

El  $Zn^{++}$  es adsorbido por los carbonatos de calcio y magnesio como la magnesita ( $MgCO_3$ ), dolomita ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ) y calcita ( $CaCO_3$ ). En la magnesita y dolomita el  $Zn^{++}$  es adsorbido en las superficies cristalinas del retículo ocupado por los átomos de magnesio; el  $Zn^{++}$  y el  $Cu^{++}$  forman complejos estables con la materia orgánica, siendo también adsorbidos en las aristas intemperizadas de los minerales arcillosos, esto sucede a valores de pH alto.

Jackson, (1956) la montmorillonita adsorbe fuertemente el  $Zn^{++}$  más allá de su capacidad de intercambio catiónico a niveles de pH neutro o alcalino, seguida de la illita. En suelos calcáreos el  $Zn^{++}$  es adsorbido con mayor intensidad por la magnesita, intermedio para la dolomita y bajo para la calcita.

Los suelos presentan deficiencias de zinc cuando son :

- a) Suelos minerales cuyo material de origen es pobre en  $Zn^{++}$ .
- b) Suelos alcalinos de origen calcáreo (zonas áridas).
- c) Suelos muy intemperizados que han recibido dosis de cal agrícola.
- d) Suelos ricos en fósforo aprovechable.

Un incremento en el pH del suelo por adiciones de magnesita provoca una deficiencia poco severa, debido a la interacción del magnesio con el zinc dentro de la planta.

El zinc divalente es requerido por la planta en los procesos de respiración, reducción y transferencia, estando asociado a varios sistemas enzimáticos, como la deshidrogenasa, lectinasa, cisteína aldolasa, anhidrasa carbónica, proteinasas y peptidasas. Cierta número de deshidrogenasas muestran sensibilidad a las deficiencias de  $Zn^{++}$  (Vallee y Wacker, 1970).

El  $Zn^{++}$  es más deficiente en las plantas que crecen en suelos con un horizonte superficial calcáreo o bien en suelos arenosos ácidos, suelos con alto fósforo disponible, así como las interacciones involucradas de zinc, fósforo y fie

rrs Viets, (1966).

Hodgson, Lindsay, (1966) encontraron que el 75 % de Zn soluble y el 98 % de Cu soluble estaban presentes como complejos orgánicos en suelos calcáreos. Thorne et al, (1957) observaron que la mayoría de las alteraciones por  $Zn^{++}$  en las plantas ocurre en suelos calcáreos, se piensa que ésto se debe a la baja solubilidad de los productos del suelo con Zn y carbonatos que están presentes en un rango de  $10^{-16}$  y  $10^{-19}$ . La deficiencia de  $Zn^{++}$  ocurre en muchas plantas cuando la concentración de las hojas es menor de 20 ppm en la materia seca. Chapman, (1966) el rango de concentraciones normal es de 25 a 150 ppm de  $Zn^{++}$ , observándose niveles de toxicidad cuando el contenido de Zn en las hojas excede a 400 ppm.

Jones, (1970) la concentración de Zn en las hojas superiores de maiz era mayor a la observada en las hojas inferiores con la concentración de Zn en la nervadura media y cerca de la mitad de la encontrada en el resto de la superficie. Se conoce muy poco respecto a las formas de los micronutrientes translocados de las semillas, lo cual se puede suponer lo siguiente; la movilización de los micronutrientes se inicia con la imbibición de agua por las semillas, que se mueve inicialmente en el floema, algunos micronutrientes son quelados a componentes orgánicos, asegurando su solubilidad y movilidad.

Watanabe et al, (1965), encontraron que la velocidad de crecimiento de la planta excede la velocidad de captación de un nutriente particular y las concentraciones de dicho nutriente en el tejido disminuye. El Zn y el Cu se encuentran en las semillas retrasando la aparición de deficiencia, el Mn y el Fe no son adecuados, excepto en las etapas tempranas de las plántulas a pesar de las cantidades relativamente elevadas en que pueden encontrarse en semillas grandes. En la distribución de Zn, P y Ca de los cotiledones hacia otras partes de la planta de frijol se ha encontrado que el Zn es más fácilmente translocado inicialmente; la distribución del Zn es de 94 % en los cotiledones y 6 % en el epicotilo, hipocotilo y radícula, después de 6 días la distribución de Zn era de 43 % en los cotiledones y el 57 % en epicotilo, hipocotilo y radícula

Bur-evac y Riga, (1962).

La absorción de Zn en mijo japonés puede decrecer cuando están presentes óxidos libres de hierro, combinados con la aplicación de fósforo; cuando este último está ausente, la absorción del Zn no se vio afectada y el efecto del fósforo es insignificante en ausencia de sesquioxidos libres, ésto parece indicar el efecto importante de la interacción de fósforo-sesquióxidos sobre la absorción del zinc, Staton y Burger, (1960).

PROTEINAS	PLANTAS
PROTEASAS	<u>Bacillus subtilis</u>
ALCOHOL DESHIDROGENASA	<u>Saccharomyces</u> sp
D LACTICO DEHIDROGENASA	<u>Euglena gracilis</u>
CITOCROMO C REDUCTASA	<u>Saccharomyces</u> sp <u>Aspergillus niger</u>
ALDOLASA	<u>Escherichia coli</u> , <u>Aspergillus niger</u> <u>Saccharomyces</u> sp
TRASCARBOXYLASA	<u>Propionibacterium shermanii</u>

Cuadro 3. Metaloenzimas de zinc en las plantas Vallee y Wecker, (1970).

MICRONUTRIMENTOS	CONCENTRACIONES EN HOJAS MADURAS		
	. PPM		
	DEFICIENTE	SUFICIENTE	TOXICO
Fe	menor de 50	50 a 200	-
Mn	menor de 20	200 a 500	+ 500
Zn	menor de 20	25 a 100	+ 400
Cu	menor de 4	5 a 20	+ 20
Mo	menor de 0.1	55	-

Cuadro 4. Concentraciones en hojas maduras de micronutrientes Chapman, (1966).

#### IV. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

##### A. Localización

El sitio de muestreo está localizado entre los paralelos 15° 04' 50" latitud norte y 14° 53' 45" latitud sur y 92° 09' 15" de longitud oeste. Los suelos utilizados en el presente estudio fueron colectados en los Municipios de Tapa chula y Unión de Juárez de la zona cafetalera del Soconusco.

##### B. Topografía

La zona de estudio forma parte de la Planicie Costera del Pacífico y Sierra Madre de Chiapas Mulleried, (1957).

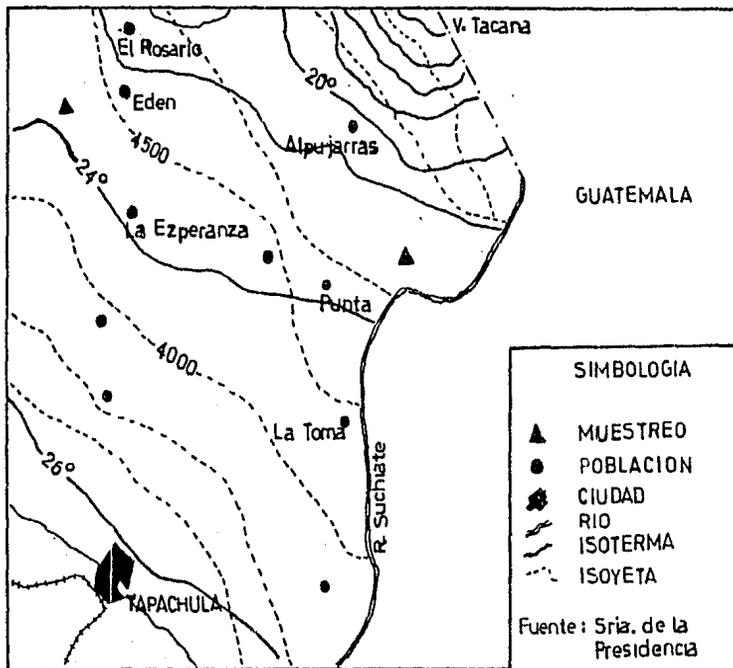
La Planicie Costera del Pacífico se encuentra limitada al Noroeste por la Sierra Madre y al Sureste por la Costa; la superficie de la Planicie Costera es más ó menos plana aumentando lentamente desde la Costa hacia tierra adentro, pero al sureste hay lomeríos que se encuentran en la región de Tapachula.

La Sierra Madre de Chiapas se encuentra al Norte de la Planicie Costera del Pacífico con una longitud de 280 Km y una anchura de 50 Km, aumentando hacia el Sureste donde llega a 65 Km, penetra al Istmo de Tehuantepec y constituye una prolongación de las Serranías de Centroamérica con una altura de 1500 msnm, al noroeste y 3000 monm en la parte sureste donde se encuentra el Soconusco, el Tacaná con 4030 m, se encuentra casi en la terminación noroeste de la línea de volcanes de América Central, existiendo por lo menos tres conos volcánicos extinguidos: El Boquerón, San Luis Chiquinchaque y Rancho Quemado, que se en encuentran a 25 Km al Noroeste del Tacaná.

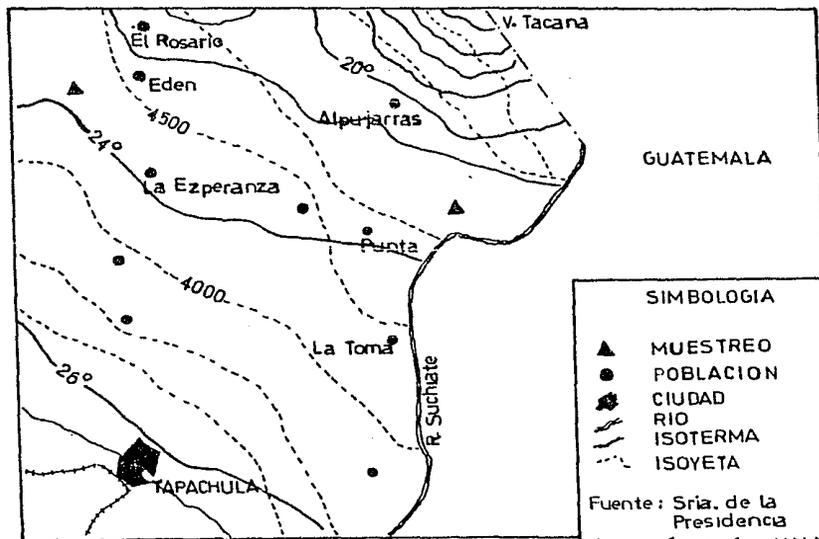
##### C. Geología

La Planicie Costera del Pacífico en la parte suroeste, está constituida por depósitos del Cuaternario, es decir de arenas con guijarros; cerca de la frontera con Guatemala se aprecia material volcánico constituido por tobas y arenas volcánicas.

La Sierra Madre con su relieve heterogéneo es una región que contiene una gran cantidad de rocas y estratos correspondientes a diferentes formaciones desde



LOCALIZACION ZONA DE ESTUDIO  
ESC. 1:500 000



**LOCALIZACION ZONA DE ESTUDIO**  
 ESC. 1:500 000

**SIMBOLOGIA**

- ▲ MUESTREO
- POBLACION
- CIUDAD
- ~ RIO
- ISOTERMA
- - - ISOYETA

Fuente: Sria. de la  
 Presidencia  
 Insto. Geografia UNAM

el Precámbrico hasta el Reciente. Las rocas volcánicas del Cenozoico se encuentran al sureste de la Sierra Madre ocupando la parte sur del Soconusco. Las andesitas de hornblenda, basaltos, tobas, arenas, brechas volcánicas y dioritas constituyen los principales componentes de algunos volcanes extinguidos, como el Boqueron 2670 m, Rancho Quemado 2480 m y San Luis Chiquinchaque 2000 m, Mullerried, (1957).

#### D. Clima

En la Planicie Costera del Pacífico, el viento predominante es el alisio del sureste, el régimen pluviométrico está determinado por esta corriente atmosférica que al cambiar de dirección al suroeste y cargado de humedad a su paso por el Pacífico, producen abundantes lluvias, sobre todo hacia la zona de rechazo al pie y faldas de Sierra, su influencia es mayor hacia las dos terceras partes del sureste de la llanura, este régimen es marcadamente estacional y se concentra en verano y otoño, mientras que en la parte noroeste es menos húmeda. El clima de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por García, (1970) es un Am(w)ig, cálido húmedo con lluvias en verano, con una precipitación del mes más seco menor de 60 mm, el porcentaje de lluvias invernales es menor de 5 mm de la anual y una oscilación térmica de menos 5°C, las lluvias se producen de junio a octubre con una precipitación mayor de 600 mm.

#### E. Hidrología

Los ríos que atraviesan la zona de estudio nacen en las cumbres de la Sierra Madre cuya altitud es de 3000 m, el Suchiate, Cuahuacán y Coatan, las cañadas de estos ríos suben hasta el eje principal de vertientes con sus surcos y arroyos tributarios alimentados perennemente en la regiones de las selvas nebulosas del Soconusco, la Planicie Costera se encuentra a 35 Km de esta Sierra y debido a que es ligeramente plana sobre todo cerca de la costa se estanca el agua que proviene de las lluvias ó de las inundaciones de los ríos formando lagunas, Mullerried, (1957).

## F. Vegetación

La zona de estudio se encuentra en las llanuras y declives del Pacífico y parte de la Sierra Madre, la vegetación predominante es Selva Alta Siempre Verde que en Chiapas se le denomina montaña alta; se caracteriza por la gran altura de sus árboles de 20 a 40 m y porque permanece verde casi todo el año, aunque muchos de sus componentes arbóreos pierden las hojas durante un período corto de la floración. En la época más seca del año de marzo a mayo además de algunos de los árboles altos y casi todos los bajos son de follaje persistente, pues sus hojas se renuevan antes de que caigan las viejas. Las hojas carecen de peglos y tienen bordes lisos, los troncos de los árboles son con frecuencia rectos y se hallan libres de ramas en una longitud bastante grande, hay bejuco como; Mastera deliciosa, Syngonium podachyllum y árboles epífitos como matacabo Ficus cotinifolia, lianas y enredaderas Miranda, (1952).

La flora de ésta región se encuentra estrechamente relacionada en el norte de Chiapas y sur de Veracruz y tiene poco en común con la del occidente de México y costa del Pacífico, su caracterización estriba en la presencia de una significativa proporción de especies endémicas.

El bosque perennifolio se desarrolla comúnmente en altitudes de 0 a 1000 m, aunque en algunas partes de ésta región ascienden hasta 1500 m.

A partir de 1500m se encuentran los encinares cubiertos por orquídeas y un poco más arriba se localiza el bosque de coníferas principalmente pinos cubiertos de musgos y líquenes. Dentro de ésta selva siempre verde se encuentran, el guayabo volador Terminalia amazonia que se extiende desde Pijijiapan hasta Tapachula; acompañando al volador se encuentran los siguientes árboles de más de 20 m de altura, chichi colorado Aspidosperma megalocarpon, bálsamo Myroxylon balsamum, sacacera Voltairea lundellii, tepenaguaste Pithecelobium sp, cuchillal Schizolobium sp entre los árboles más bajos de 8 a 20 m meloncillo Guararibea fenubris, mano de león Gilbertia arborea.

Plantas típicas de las llanuras y declives del Soconusco, manaca Scheelea preussical, volador Terminalia amazonia, cacac volador Virela guatemaltensis trompillo Guarea trompillo, lechero Mabea excelsa, caninoco Micrognathis mexicana.

Azedowski, (1973) indica que la provincia del Soconusco corresponde a una estrecha franja en las estribaciones inferiores de la Sierra Madre de Chiapas. Con clima cálido húmedo se prolonga también hacia Guatemala constituido por bosque tropical perennifolio con Pinarochyllum sp, Plocaniochyllum sp y mesófilo de montaña, aislado de la gran extensión continua de estos tipos de vegetación que se localiza en la vertiente del Atlántico. En el Soconusco se encuentran pinas como Pinus cocarca, desde 300 a 3000 m, Pinus pseudostrabus, Pinus strobus, Pinus teruifolia, Pinus avacahuite; Pinus montezumae y Pinus teccote se encuentran en comunidades en los parajes más húmedos mientras que Pinus rudis y Pinus hartwegii se encuentran a 2800 m.

#### G. Suelos

Según la clasificación FAO UNESCO modificado por el INEGI (antes DEBETENAL), (1982) están clasificados dentro de la Unidad Andosoles. Son suelos que se encuentran en las faldas de Tacaná, formados de cenizas volcánicas en condiciones naturales, con vegetación de pino, encino y abeto, con una capa superficial de color negro, son sueltos, fáciles de trabajar, con suficiente fertilidad natural para dar rendimientos moderados a los cultivos tradicionales, pero se pueden erosionar fácilmente. Hay carencia de fosfatos debido a la fijación por el material amorfo (alofano), en forma aprovechable para el desarrollo de las plantas. La FAO, (1976) los clasifica dentro de la subregión tierras volcánicas centroamericanas caracterizándolos como Andosoles húmicos (Th), Andosoles mólicos (Tm) y Regosoles (R). A los materiales volcánicos recientes, como Cambisol distrito (Bd) y Luvisol férrico (Lf).

#### V. MATERIAL Y METODOS

##### A. De Campo

Los suelos estudiados en el presente trabajo se colectaron en los municipios de Tapachula y Unión de Juárez de la zona cafetalera del Soconusco, Chiapas México, esta investigación forma parte de los estudios Edafológicos del Soconusco descritos por Ramos.S, (1979).

Los suelos corresponden al Orden Inceptisol de acuerdo con el Soil Survey Staff USDA, (1975).

Las características del sitio del perfil No 1 Santo Domingo, Municipio de Unión de Juárez, Estado de Chiapas.

Localización: Frente al panteón Sto. Domingo  
Uso del suelo: Cafetal  
Precipitación promedio.  
anual 4,997.34 mm  
Temperatura media anual: 22°C  
Clima: Am(w")ig cálido húmedo con lluvias en verano  
Forma del terreno: Pendiente regular 10 % forma parte de una de las serranías del Tacaná  
Material parental: Cenizas volcánicas  
Altitud: 1,300 m.

Las características del sitio del perfil No 2 Independencia, Municipio de Tapachula, Estado de Chiapas.

Localización: Sobre la carretera Tapachula-Edén  
Uso del suelo: Cafetal  
Precipitación promedio  
anual: 4000 mm  
Temperatura media anual: 23°C  
Clima: Am(w")ig cálido húmedo con lluvias en verano  
Forma del terreno: Ondulado con pendiente de 15 %  
Material parental: Roca andesítica y ceniza volcánica  
Altitud: 550 m.

En los cuadros 5 y 6 se muestran algunas de las características físicas y químicas de los perfiles 1 y 2, Santo Domingo Municipio de Unión de Juárez e Independencia Municipio de Tapachula Estado de Chiapas( Ramos.S, 1979 y Ramos. S y Aguilera, 1979).

Con base en los resultados de las determinaciones físicas y químicas de estos perfiles, y de acuerdo con el Soil Survey Staff, (1975) se determinan como:

Orden	Inceptisol
Suborden	Andepts
Gran grupo	Umbrandepts Mollico.

#### B. Diseño experimental de invernadero

Los suelos del perfil No 1 y 2 se colectaron de 0 a 30 cm, con un total de 207 submuestras para cada una de ellas, se mezclaron y homogeneizaron para obtener una muestra representativa de 300 Kg.

Se utilizó la lechuga (Lactuca sativa L variedad Great Lakes 407), como planta indicadora de fertilidad del suelo y disponibilidad de los micronutrientes  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$  y  $Zn^{++}$ . En macetas de plástico se colocaron 2 Kg de suelo y se sembraron 15 semillas de lechuga por maceta, a los diez días de germinado, se seleccionaron 2 plantulas (la más vigorosa).

La aplicación de fertilizantes de los diferentes tratamientos fue con 4 repeticiones con base a un diseño factorial. Se utilizaron los testigos de los perfiles 1 y 2 para saber cual es la disponibilidad de los micronutrientes en el suelo y observar como afecta la disponibilidad de éstos, al aplicar los diferentes tratamientos de fósforo, carbonato y metasilicato de sodio.

En el cuadro No 7 se muestra la proporción de los diferentes tratamientos utilizados en este estudio.

#### C. De laboratorio

##### a. Determinaciones de micronutrientes en los suelos estudiados

Después de la cosecha, los suelos se secaron a temperatura ambiente, se mezclaron las repeticiones de cada tratamiento y se tamizaron a través de una malla de 2 mm y se les efectuaron las siguientes determinaciones:

1. COBRE, por el método de Cheng y Bray, (1953) a 50 gr de suelo se le añade 100

ml de  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 4.8 agitando durante 1 hora y filtrando con papel Whatman # 2 aforando a 100 ml.

2. FIERRO, por el método de Olsen, (1940) a 12.5 gr de suelo se le añade 50 ml de  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 4.8 agitando por 30 minutos, filtrando y aforando a 100 ml.

3. MANGANESO, por el método de Sherman et al, (1946) a 10 gr de suelo se le añade 100 ml de  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7 1N agitando por 6 horas filtrando y aforando a 100 ml

4. ZINC, por el método de Nelson et al, (1959) a 2.5 gr de suelo se le añade 20 ml de HCl 0.1 N por 3 veces agitando durante 10 minutos y centrifugando a 5000 revoluciones por minuto, el sobrenadante se aforó a 100 ml.

Una vez obtenido el filtrado se analizaron las muestras utilizando el espectro fotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 503, con lámpara de cátodo hueco usando una mezcla de aire acetileno, como combustible.

b. Determinaciones de micronutrientes en plantas.

El  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$ , mediante el método de Chapman, (1966) en lechuga (Lactuca sativa L variedad Great Lakes).

A los 110 días después de sembradas, se tomaron las plantas completas (follaje y raíz), se lavaron según el método de Arkley, (1960) con una solución de HCl 0.1 N y posteriormente con agua desmineralizada, las plantas fueron secadas en una estufa durante 48 hrs a 110°C y fueron molidas en un molino Wiley, con una malla del # 20.

Para determinar los micronutrientes  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$ , se tomó 1 gr de muestra y se digirió con 10 ml de HCl 2 N calentando y filtrando, posteriormente el filtrado se aforó a 50 ml, analizando las muestras mediante absorción atómica, con un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 503 utilizando una mezcla de aire acetileno, como combustible.

Combinaciones de fertilizantes utilizados en los suelos de los perfiles No 1 Saïto Domingo Municipio de Unión de Juárez y el perfil No 2 Independencia Municipio de Tapachula Chiapas.

Tratamientos	ppm de $P_2O_5$	meq de $CaCO_3/100$ gr
T <sub>1</sub>	160	0
T <sub>2</sub>	80	10
T <sub>3</sub>	160	10
T <sub>4</sub>	160	30
T <sub>5</sub>	240	30
	ppm de $P_2O_5$	ppm de metasilicato
T <sub>6</sub>	160	300
T <sub>7</sub>	160	400
T <sub>8</sub>	240	300

Cuadro No 7 muestra la proporción de los diferentes tratamientos utilizados en este estudio.

## VI. RESULTADOS

Con base en los resultados de los 24 tratamientos de fertilización de macronutrientes aplicados a los suelos de las muestras 1 y 2 realizados por Ramos.S, (1982) se escogieron 8, debido a que estos estadísticamente fueron los más significativos. En cada punto de muestreo se obtuvo un total de 207 submuestras de suelo que se homogeneizaron dando una sola muestra representativa en condiciones de invernadero se aplicaron diferentes dosis de fertilizantes, sembrando lechuga (Lactuca sativa L. variedad Great Lakes 407) en los cuales se les determinó el contenido de micronutrientes  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$  y  $Zn^{++}$  asimilables para la planta y concentración por medio de absorción atómica utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer 503.

RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES DE LOS MICRONUTRIMENTOS  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  Y  $\text{Zn}^{++}$  DE LA MUESTRA DE SUELO No 1, SANTO DOMINGO MUNICIPIO DE UNION DE JUAREZ ESTADO DE CHIAPAS.

	TRATAMIENTOS		DISPONIBILIDAD DE LOS MICRONUTRIMENTOS			
	meq/100 g		p p m			
	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{CaCO}_3$	$\text{Cu}^{++}$	$\text{Fe}^{++}$	$\text{Mn}^{++}$	$\text{Zn}^{++}$
T <sub>1</sub>	160	0	6.80	22.00	2.40	21.12
T <sub>2</sub>	80	10	6.00	24.40	0.74	41.04
T <sub>3</sub>	160	10	7.20	17.60	0.89	27.12
T <sub>4</sub>	160	30	5.60	6.80	0.76	8.40
T <sub>5</sub>	240	30	4.80	14.14	19.00	8.60
	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2$	en p p m			
T <sub>6</sub>	160	300	3.32	17.60	1.40	23.28
T <sub>7</sub>	160	400	6.00	11.20	16.10	8.40
T <sub>8</sub>	240	300	6.40	16.40	1.40	16.96

TABLA 1 Se observa que la disponibilidad de estos nutrimentos varía de acuerdo a los tratamientos usados y según las tablas del Dr Moreno (1977) su concentración es normal. La distribución de la disponibilidad de estos micronutrimentos  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  se presentan en las gráficas 1,2,3 y 4

RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES DE LOS MICRONUTRIMENTOS  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  Y  $\text{Zn}^{++}$  EN LECHUGA (Lactuca sativa L'variedad great lakes) CULTIVADA EN LA MUESTRA DE SUELO No 1, SANTO DOMINGO MUNICIPIO DE UNION DE JUAREZ ESTADO DE CHIAPAS.

	TRATAMIENTOS		CONCENTRACION DE LOS MICRONUTRIMENTOS			
	meq/100.g		p p m			
	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{CaCO}_3$	$\text{Cu}^{++}$	$\text{Fe}^{++}$	$\text{Mn}^{++}$	$\text{Zn}^{++}$
T <sub>1</sub>	160	0	54.70	1123.20	420.00	61.50
T <sub>2</sub>	80	10	58.00	303.70	320.00	47.00
T <sub>3</sub>	160	10	50.00	494.20	164.70	60.50
T <sub>4</sub>	160	30	46.00	354.00	112.70	69.70
T <sub>5</sub>	240	30	45.50	1083.70	141.70	73.70
	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2$	p p m			
T <sub>6</sub>	160	300	57.00	217.50	240.70	50.20
T <sub>7</sub>	160	400	54.70	112.50	242.20	41.70
T <sub>8</sub>	240	300	50.20	252.70	224.50	48.70

TABLA 2 Muestra los resultados de la concentración de los micronutrientes en la lechuga cultivada en la muestra de suelo No 1

La distribución de la concentración de los micronutrientes  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  se presentan en las gráficas 1,2,3 y 4

REZ MUNICIPIO DE UNION DE JUAREZ, CHIAPAS( REGION SOCOMUSCO)

VIFOLIA, CULTIVO ACTUAL CAFE.

C.I.C.T	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	P	Al <sup>+++</sup>	ALOFANO
	meq/100g			ppm	meq/100g	xxxx
32.7	5.5	0.5	0.28	1.4	2.22	xxxx
14.0	2.5	0.5	0.18	0.57	2.55	xxxx
3.6	1.5	1.0	0.08	0.42	0.77	xxxx
22.4	2.5	1.0	0.12	0.57	2.55	xxxx
32.8	2.5	0.5	0.12	0.57	2.55	xxxx
43.2	1.5	0.5	0.08	0	1.44	xxxx
33.4	1.0	0.5	0.05	0.28	0	xxxx
31.8	5.0	0.5	0.05	0.28	0	xxxx
32.8	1.0	0.5	0.08	0.63	0	xxxx
33.4	1.0	0.5	0.07	0.35	0	xxxx
36.2	1.0	1.0	0.07	0.63	0	xxxx

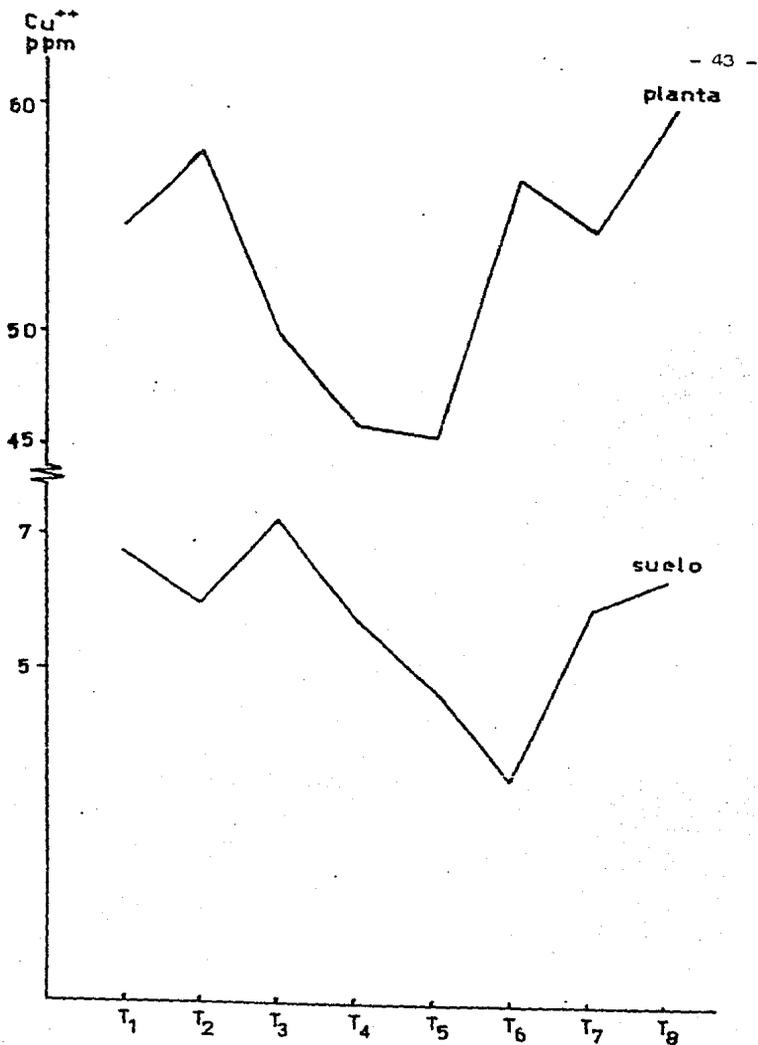
CUADRO 5 RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS DEL PERFIL 1 SANTO DOMINGO MUNICIPIO DE UNION DE JUAREZ MU  
MATERIAL PARENTAL CENIZAS VOLCANICAS, 1225 MSNM, CLIMA Am(w"ig VEGETACION ORIGINAL SELVA ALTA PERENNIFOLIA

PROFUNDIDAD	COLOR		TEXTURA			D.A	D.R	pH		M.O	C	
	CMS	SECO	HUMEDO	ARE %	LIMO %			ARC %	POROSIDAD %			g/cc
0 - 10	10 YR 3/3 PARDO OSCURO	10 YR 3/2	57.8	38	4.2	70.58	0.70	2.38	5.6	1.8	15.0	8.70
10 -20	10 YR 4/3 PARDO OSCURO	10YR 3/3 PARDO OBS	53.8	42	4.2	55.1	0.83	1.85	5.4	4.8	5.7	3.30
20 -30	10 YR 6/1 GRIS	10 YR 5/1 GRIS	55.8	42	2.2	48.4	1.17	2.27	5.7	4.9	0.89	0.51
30 -40	10 YR 5/1 GRIS	10 YR 5/2 PARDO GRISACEO	57.8	39	3.2	60.5	0.79	2.00	5.0	4.9	8.10	4.70
40 -50	10 YR 3/2 PARDO GRISA CED OBS.	10 YR 2/1 NEGRO	65.9	31.9	2.2	71.87	0.54	1.92	5.4	4.9	10.52	6.10
50- 60	10 YR 3/2 PARDO ROJIZO MUY OSCURO	10 YR 2/1 NEGRO	67.8	30	2.2	70.92	0.66	2.27	5.3	5.0	11.04	6.40
60- 70	10 YR 3/3 PARDO OSCURO	10 YR 2/1 NEGRO	63.8	30	6.2	64.6	0.63	1.78	5.4	5.0	10.52	6.10
70 -80	10 YR 3/3 PARDO OSCURO	10 YR 2/2 PARDO MUY OBS	53.8	42	4.2	65.9	0.63	1.85	5.7	5.0	8.45	4.90
80 -90	10 YR 3/3 PARDO OSCURO	10YR 2/2 PARDO MUY OBS.	57.8	36	6.2	64.58	0.68	1.93	5.6	5.1	8.80	5.10
90-100	10 YR 3/3 PARDO OSCURO	10 YR 2/2 PARDO MUY OBS	57.8	34	8.2	64.0	0.69	1.92	5.6	5.1	7.76	4.50
100-110	10 YR 3/3 PARDO OSCURO	10 YR 2/2 PARDO MUY OBS	53.8	40	6.2	66.29	0.60	1.78	5.6	5.2	7.24	4.20

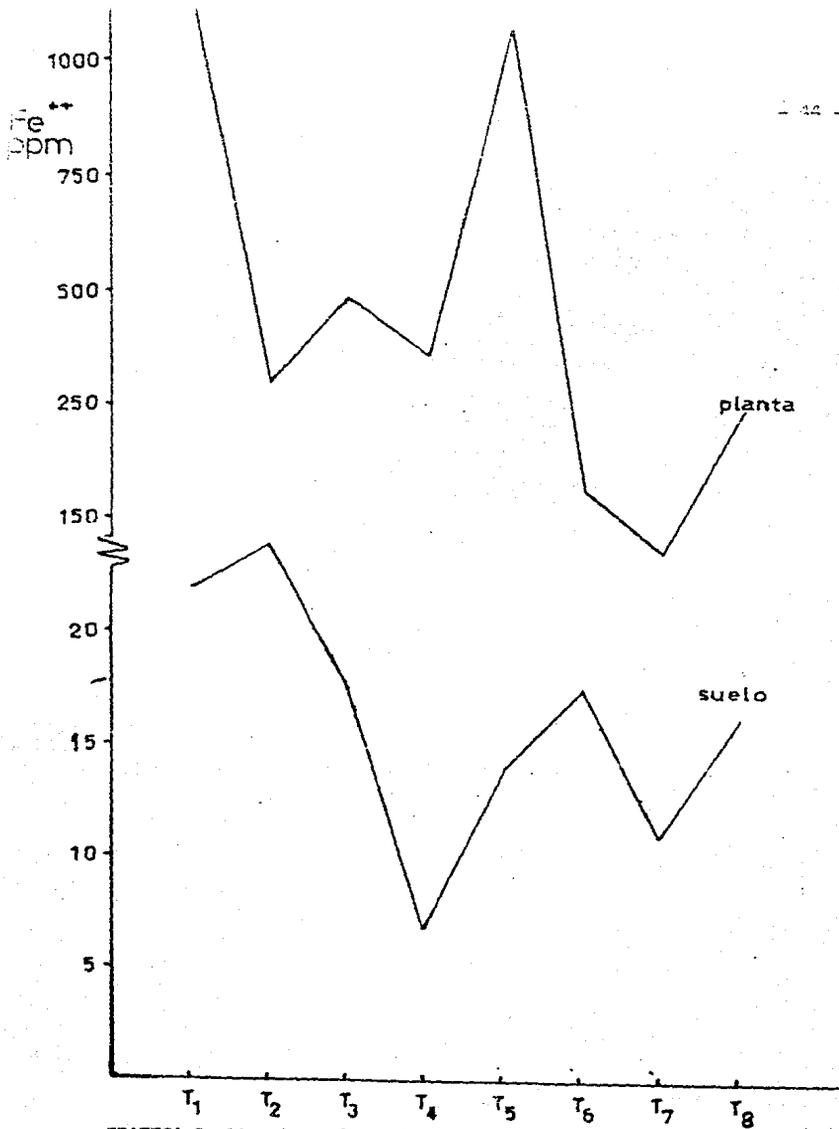
DEL PERFIL 1 SANTO DOMINGO MUNICIPIO DE UNION DE JUAREZ MUNICIPIO DE UNION DE JUAREZ, CHIAPAS( REGION SOCOMUSCO)

ENM, CLIMA Am(w)"ig VEGETACION ORIGINAL SELVA ALTA PERENNIFOLIA, CULTIVO ACTUAL CAFE.

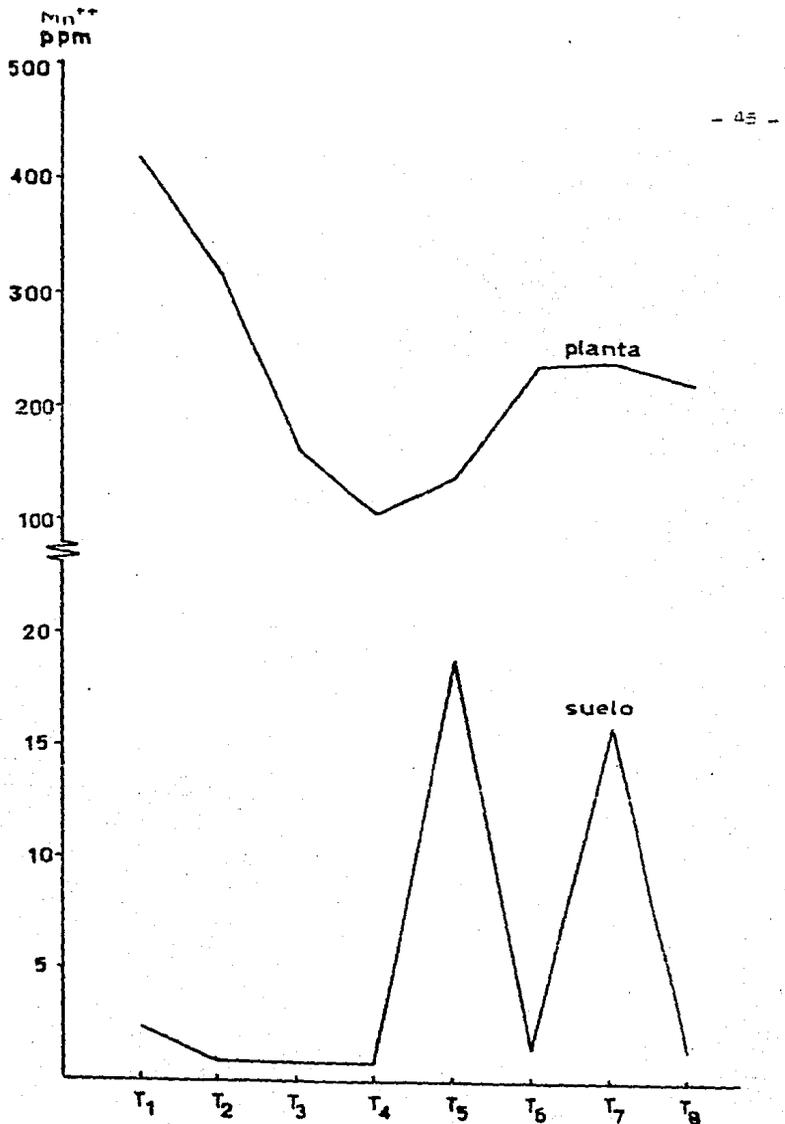
ACIDIDAD %	D.A g/cc	D.R g/cc	pH		M.O	C	C.I.C.T	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	P	Al <sup>+++</sup>	ALOFANO
			H <sub>2</sub> O	KCl	%	%	meq/100g				ppm	meq/100g	xxxx
70.58	0.70	2.38	5.6	4.8	15.0	6.70	32.7	5.5	0.5	0.29	1.4	2.22	xxxx
55.1	0.83	1.85	5.4	4.8	5.7	3.30	14.0	2.5	0.5	0.18	0.57	2.55	xxxx
48.4	1.17	2.27	5.7	4.9	0.89	0.51	3.6	1.5	1.0	0.08	0.42	0.77	xxxx
60.5	0.79	2.00	5.0	4.9	8.10	4.70	22.4	2.5	1.0	0.12	0.57	2.55	xxxx
71.87	0.54	1.92	5.4	4.9	10.52	6.10	32.8	2.5	0.5	0.12	0.57	2.55	xxxx
70.92	0.66	2.27	5.3	5.0	11.04	6.40	43.2	1.5	0.5	0.08	0	1.44	xxxx
64.6	0.63	1.78	5.4	5.0	10.52	6.10	33.4	1.0	0.5	0.05	0.28	0	xxxx
65.9	0.63	1.85	5.7	5.0	8.45	4.90	31.8	5.0	0.5	0.05	0.28	0	xxxx
64.58	0.68	1.93	5.6	5.1	8.80	5.10	32.8	1.0	0.5	0.08	0.63	0	xxxx
64.0	0.69	1.92	5.6	5.1	7.76	4.50	33.4	1.0	0.5	0.07	0.35	0	xxxx
66.29	0.60	1.78	5.6	5.2	7.24	4.20	36.2	1.0	1.0	0.07	0.63	0	xxxx



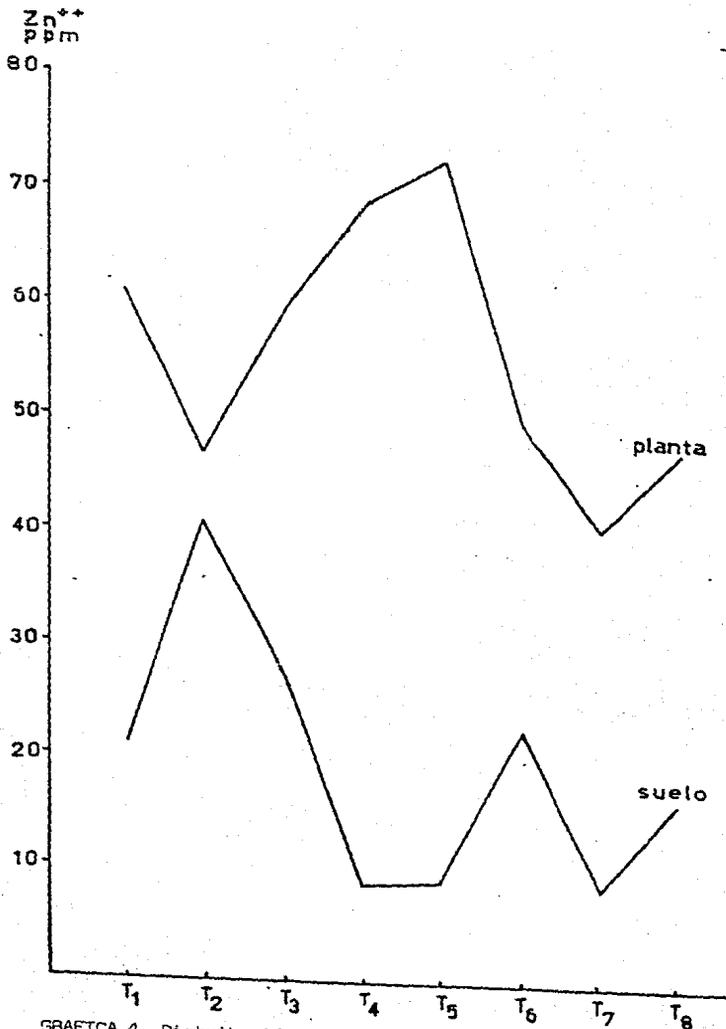
GRAFICA 1 Distribución de la disponibilidad y concentración de  $\text{Cu}^{++}$  en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.



GRAFICA 2 Distribución de la disponibilidad y concentración de Fe<sup>++</sup> en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.



GRAFICA 3 Distribución de la disponibilidad y concentración de Mn<sup>++</sup> en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.



GRAFICA 4 Distribución de la disponibilidad y concentración de  $Zn^{++}$  en la muestra de suelo 1 de suelo y planta Santo Domingo.

RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES DE LOS MICRONUTRIMENTOS  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$  Y  $Zn^{++}$  DE LA MUESTRA DE SUELO No 2, INDEPENDENCIA MUNICIPIO DE TAPACHULA ESTADO DE CHIAPAS.

	TRATAMIENTOS		DISPONIBILIDAD DE LOS MICRONUTRIMENTOS			
	meq/100 g		p p m			
	$P_2O_5$	$CaCO_3$	$Cu^{++}$	$Fe^{++}$	$Mn^{++}$	$Zn^{++}$
T <sub>1</sub>	160	0	6.40	9.60	8.00	8.60
T <sub>2</sub>	80	10	4.00	4.80	18.60	8.60
T <sub>3</sub>	160	10	2.80	6.40	0.80	9.50
T <sub>4</sub>	160	30	3.68	7.60	0.85	12.48
T <sub>5</sub>	240	30	6.40	9.20	0.62	41.76
	$P_2O_3$	$SiO_3$	en p p m			
T <sub>6</sub>	160	300	5.40	7.60	6.70	18.00
T <sub>7</sub>	160	400	6.00	7.20	6.10	21.60
T <sub>8</sub>	160	300	6.80	10.00	19.90	8.40

TABLA 3 Se observa que la disponibilidad de estos nutrimentos varía de acuerdo a los tratamientos usados y según las tablas del Dr Moreno, (1977) su concentración es normal. La distribución de la disponibilidad de estos micronutrimentos  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$  y  $Zn^{++}$  se presentan en las gráficas 5, 6, 7 y 8

RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES DE LOS MICRONUTRIMENTOS  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  Y  $\text{Zn}^{++}$  EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L variedad great lakes) CULTIVADA EN LA MUESTRA DE SUELO No 2, INDEPENDENCIA MUNICIPIO DE TAPACHULA ESTADO DE CHIAPAS

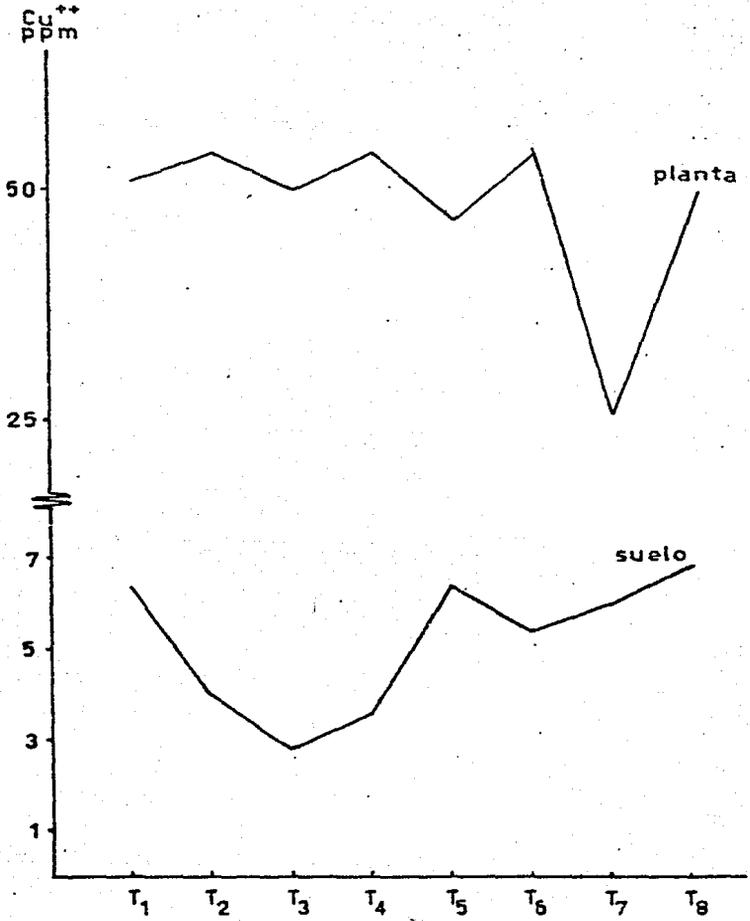
TRATAMIENTOS	CONCENTRACION DE LOS MICRONUTRIMENTOS					
	meq/100 g		p p m			
	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{CaCO}_3$	$\text{Cu}^{++}$	$\text{Fe}^{++}$	$\text{Mn}^{++}$	$\text{Zn}^{++}$
T <sub>1</sub>	160	0	51.00	241.00	238.70	84.70
T <sub>2</sub>	80	10	54.20	373.50	299.00	96.20
T <sub>3</sub>	160	10	50.50	332.00	148.20	110.50
T <sub>4</sub>	160	30	54.00	298.00	141.00	99.50
T <sub>5</sub>	240	30	47.00	437.00	142.00	94.90

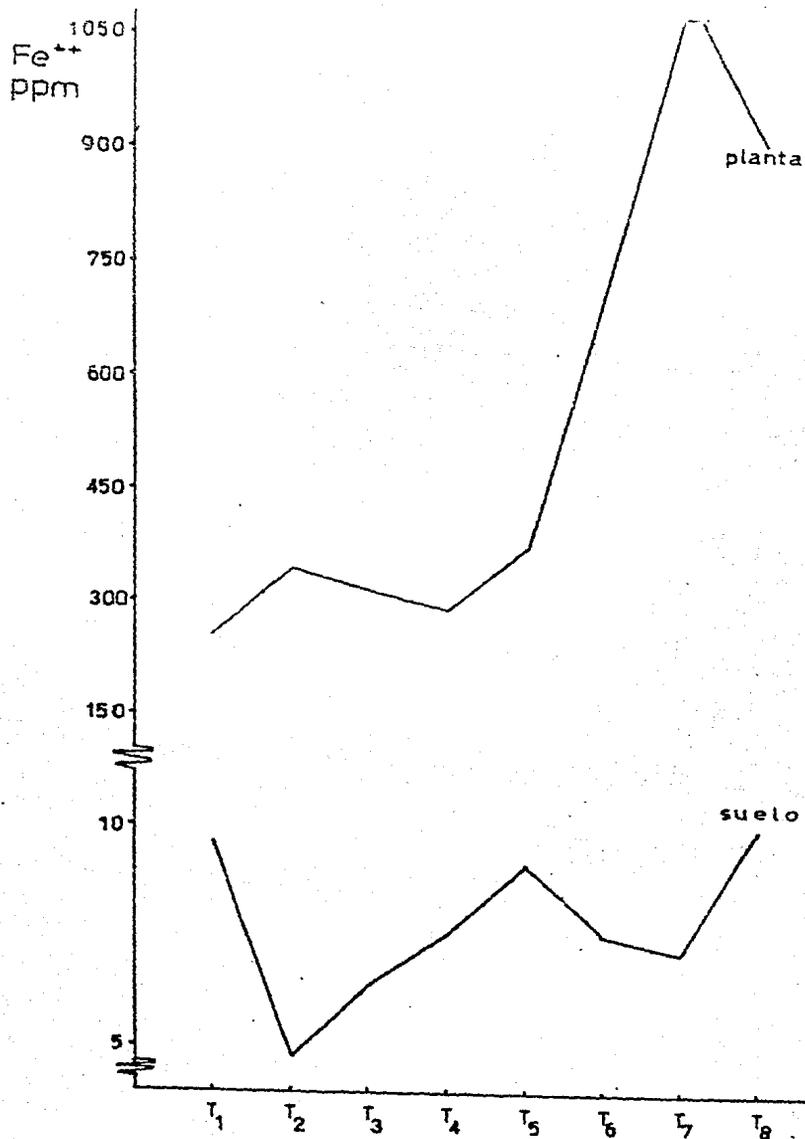
	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2$	p p m			
T <sub>6</sub>	160	300	54.00	765.00	266.70	80.00
T <sub>7</sub>	160	400	26.30	1205.00	458.00	85.20
T <sub>8</sub>	240	300	50.70	911.00	237.20	79.50

Tabla 4 Muestra los resultados de la concentración de los micronutrientes en la lechuga cultivada en la muestra de suelo No 2

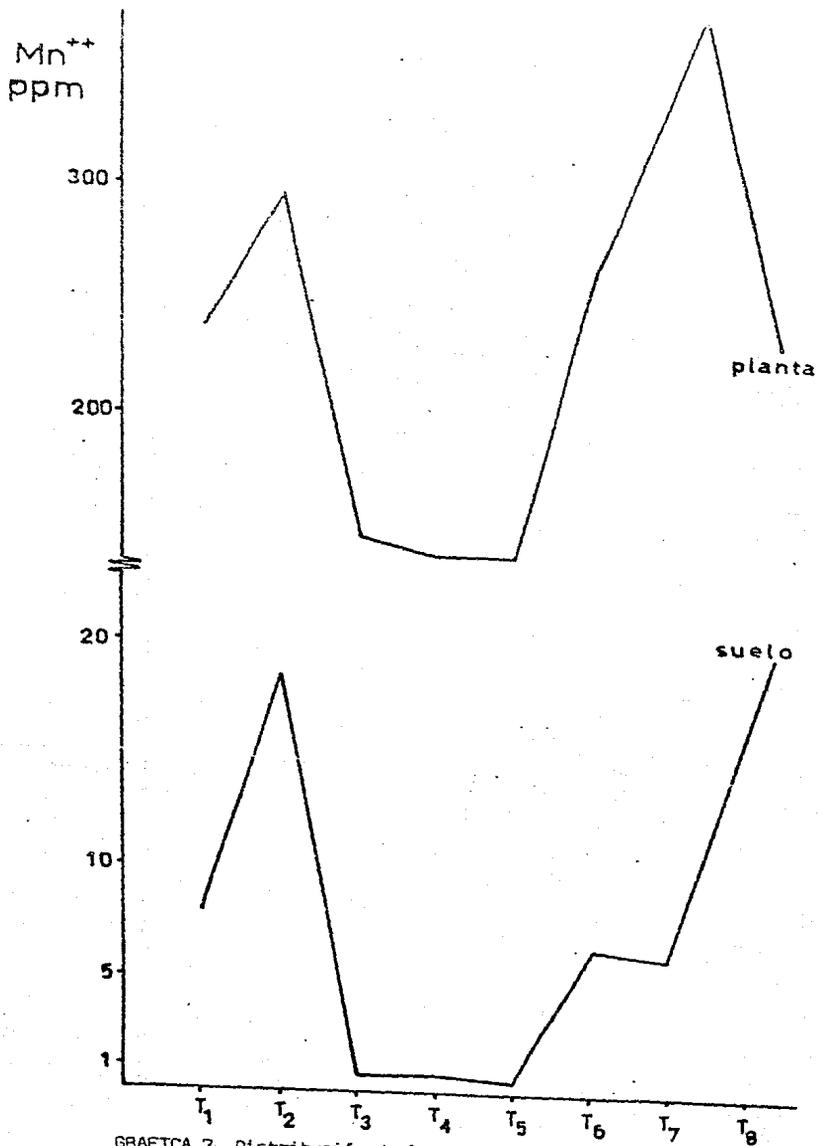
La distribución de la concentración de los micronutrientes  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  se presentan en las gráficas 5,6,7 y 8



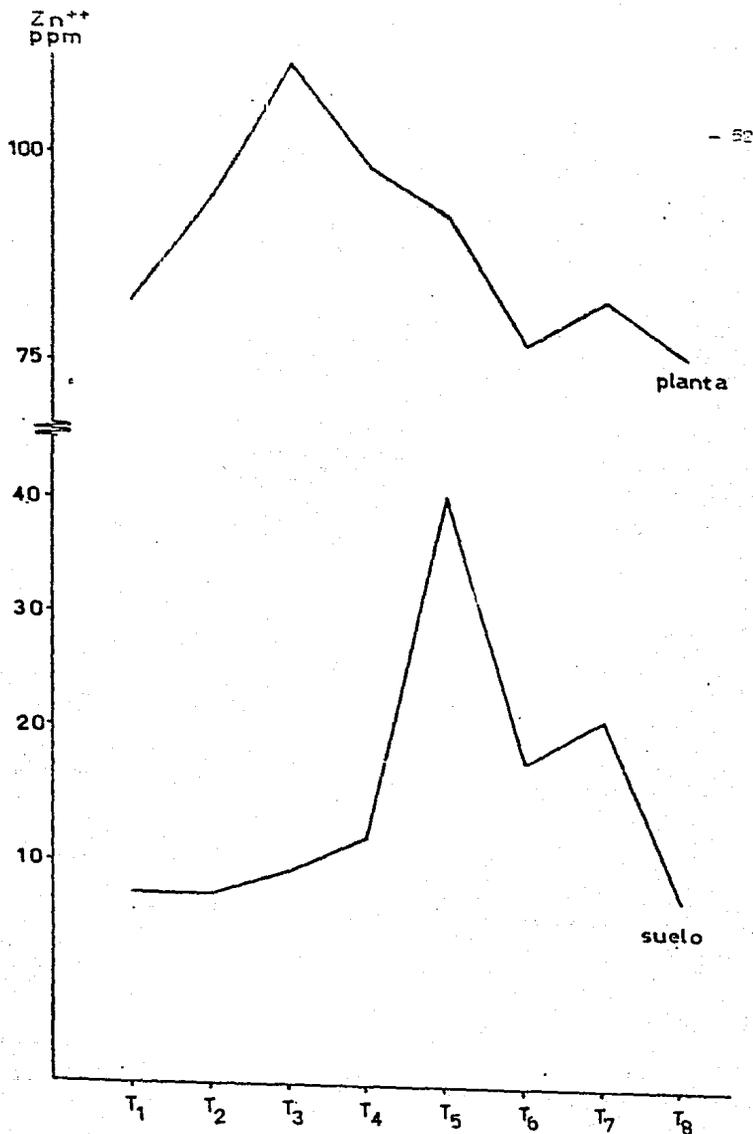
GRAFICA 5 Distribución de la disponibilidad y concentración de  $Cu^{++}$  en la muestra de suelo 2 de suelo y planta Independencia.



GRAFICA 5 Distribución de la disponibilidad y concentración de  $Fe^{++}$  en la muestra de suelo 2 de suelo y planta Independencia.



GRAFICA 7 Distribución de la disponibilidad y concentración de Mn<sup>++</sup> en la muestra de suelo 2 de suelo y planta Independencia.



GRAFICA 8 Distribución de la disponibilidad y concentración de Zn<sup>++</sup> en la muestra 2 de suelo y planta Independencia.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LOS MICRONUTRIMENTOS  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  DE LA MUESTRA DE SUELO 1 Y LECUGA

TRATAMIENTOS	DISPONIBILIDAD Y CONCENTRACION DE LOS MICRONUTRIMENTOS									
	meq/100 g		p p m							
	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{CaCO}_3$	Cu/Fe	Cu/Mn	Cu/Zn	Fe/Mn	Fe/Zn	Fe/Cu	Mn/Fe	
T <sub>1</sub>	160	0	suelo	0.30	2.93	0.32	9.10	1.06	3.23	0.10
			planta	0.04	0.13	0.88	2.67	18.26	20.53	0.37
T <sub>2</sub>	80	10		0.24	8.10	0.14	32.9	0.59	4.06	0.03
				0.19	0.18	1.23	0.94	5.46	4.23	1.05
T <sub>3</sub>	160	10		0.40	0.80	0.26	19.7	0.64	2.44	0.05
				0.10	0.30	0.82	3.0	9.16	9.88	0.33
T <sub>4</sub>	160	30		0.82	7.36	0.66	8.94	1.80	1.21	0.11
				0.12	0.40	0.65	3.14	5.07	0.07	0.31
T <sub>5</sub>	240	30		0.33	0.25	0.55	0.75	1.66	3.0	1.31
				0.04	0.32	0.61	7.64	0.14	23.8	0.13
	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_3$								
T <sub>6</sub>	160	300		0.18	2.37	0.14	12.52	0.75	5.30	0.07
				0.26	0.23	1.13	0.90	4.33	3.81	1.10
T <sub>7</sub>	160	400		0.53	0.37	0.07	0.69	0.13	1.86	1.43
				0.48	0.22	1.31	0.46	2.69	2.05	2.15
T <sub>8</sub>	240	300		0.39	4.57	0.09	11.7	0.24	2.56	0.08
				0.23	0.26	1.23	1.12	5.18	4.19	0.88

TABLA 5 Relación entre los micronutrientes  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$ , se muestran en las gráficas de la 9 a la 20.

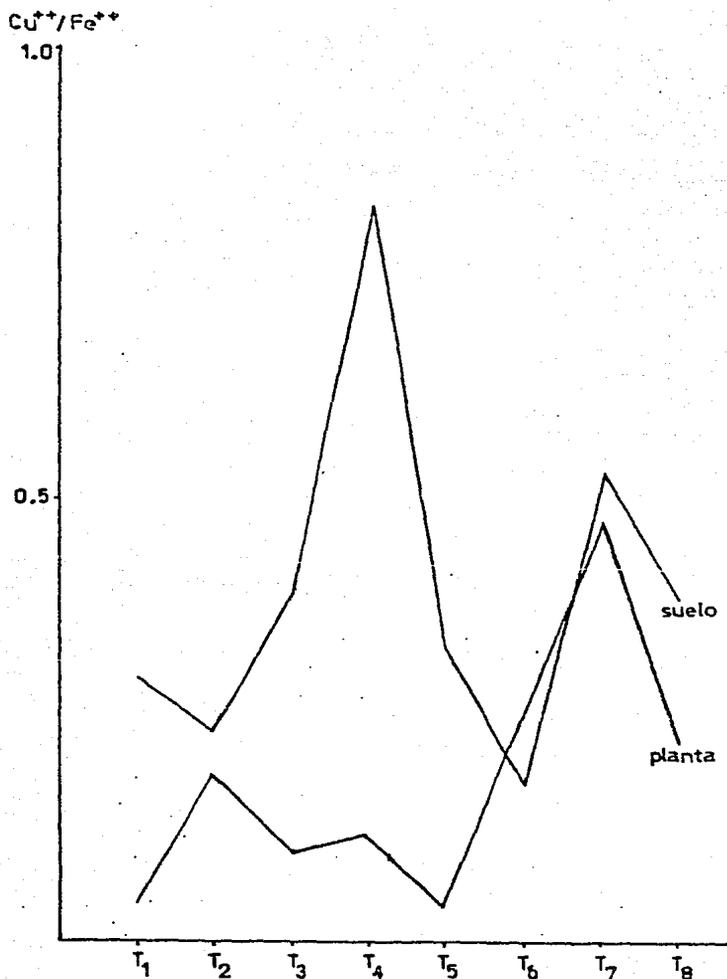
UTRIMENTOS  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  DE LA MUESTRA DE SUELO 1 Y LECHUGA (Lactuca sativa).

DISPONIBILIDAD Y CONCENTRACION DE LOS MICRONUTRIMENTOS

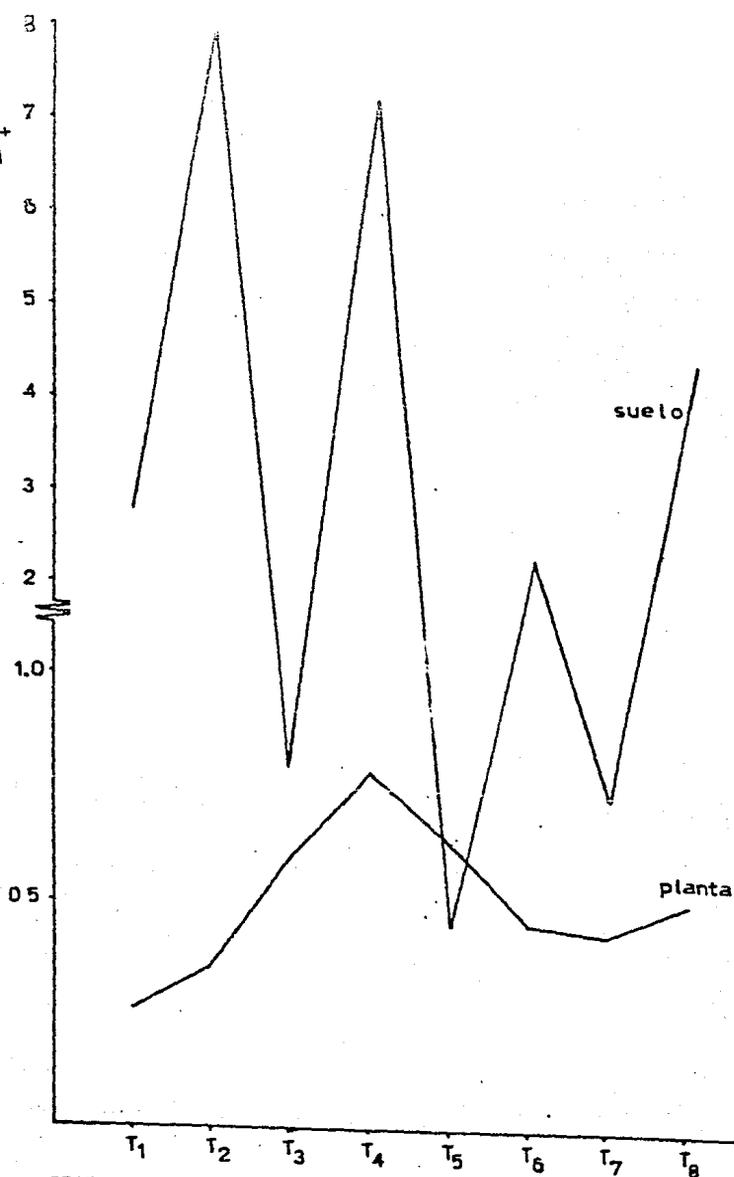
o p m

Cu/Zn	Fe/Mn	Fe/Zn	Fe/Cu	Mn/Fe	Mn/Zn	Mn/Cu	Zn/Fe	Zn/Mn	Zn/
0.32	9.10	1.06	3.23	0.10	0.11	2.83	0.96	8.8	3.10
0.88	2.67	18.26	20.53	0.37	6.82	7.67	0.05	0.14	1.12
0.14	32.9	0.59	4.06	0.03	0.01	0.12	1.68	55.4	6.84
1.23	0.94	5.46	4.23	1.05	6.80	5.51	0.15	0.14	0.91
0.26	19.7	0.64	2.44	0.05	0.03	0.12	1.54	3.04	3.76
0.82	3.0	9.16	9.88	0.33	2.72	3.29	0.12	0.36	1.21
0.66	8.94	1.80	1.21	0.11	0.09	0.13	1.23	11.05	1.5
0.65	3.14	5.07	0.07	0.31	1.61	2.45	0.19	0.61	1.51
0.55	0.75	1.66	3.0	1.31	2.19	3.95	0.06	0.45	1.8
0.61	7.64	0.14	23.8	0.13	1.92	3.11	0.06	0.52	1.61
0.14	12.52	0.75	5.30	0.07	0.06	0.42	1.32	16.6	7.01
1.13	0.90	4.33	3.81	1.10	4.79	4.22	0.23	0.20	0.99
0.07	0.69	0.13	1.86	1.43	0.20	2.68	7.17	4.99	13.4
1.31	0.46	2.69	2.05	2.15	5.30	4.42	0.37	0.17	3.76
0.09	11.7	0.24	2.56	0.08	0.02	0.21	4.08	47.82	10.46
1.23	1.12	5.18	4.19	0.86	4.60	3.72	0.19	0.21	0.90

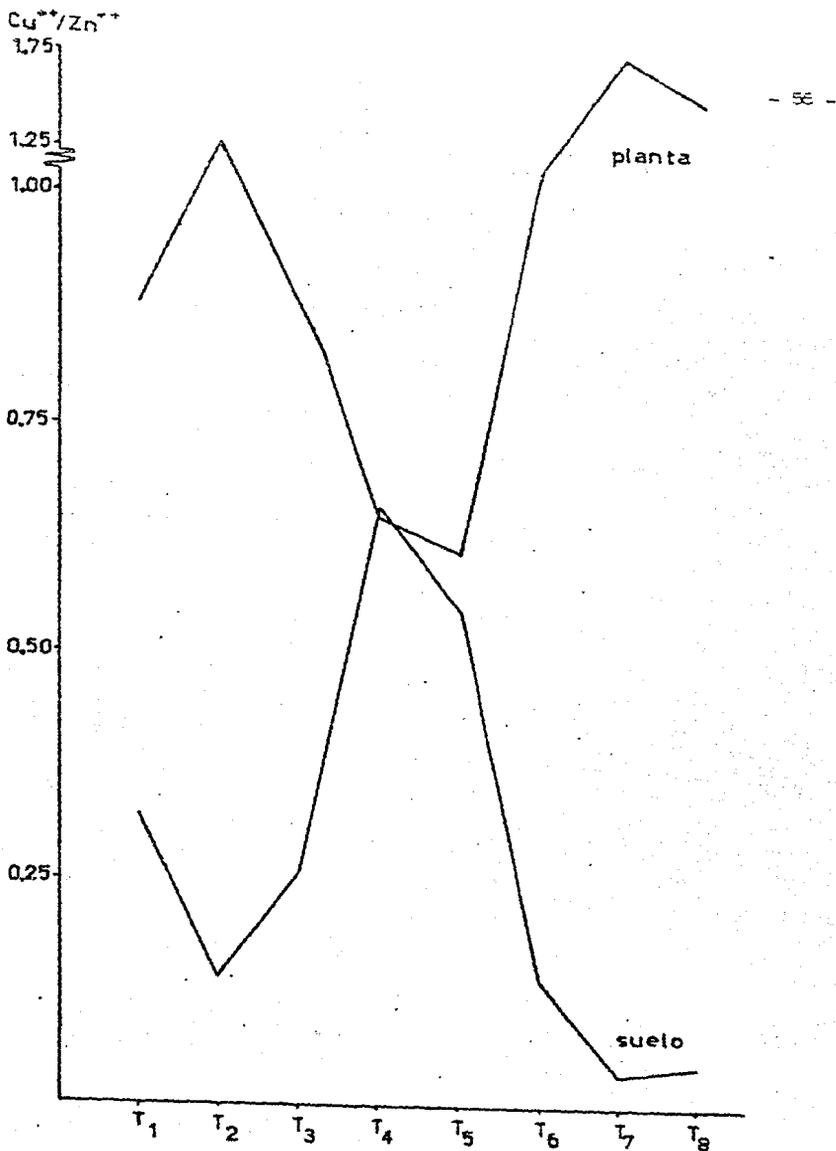
$\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$ , se muestran en las gráficas de la 9 a la 20.



GRAFICA 9 Distribución de la relación Cu/Fe en la muestra de suelo y planta Santo Domingo.

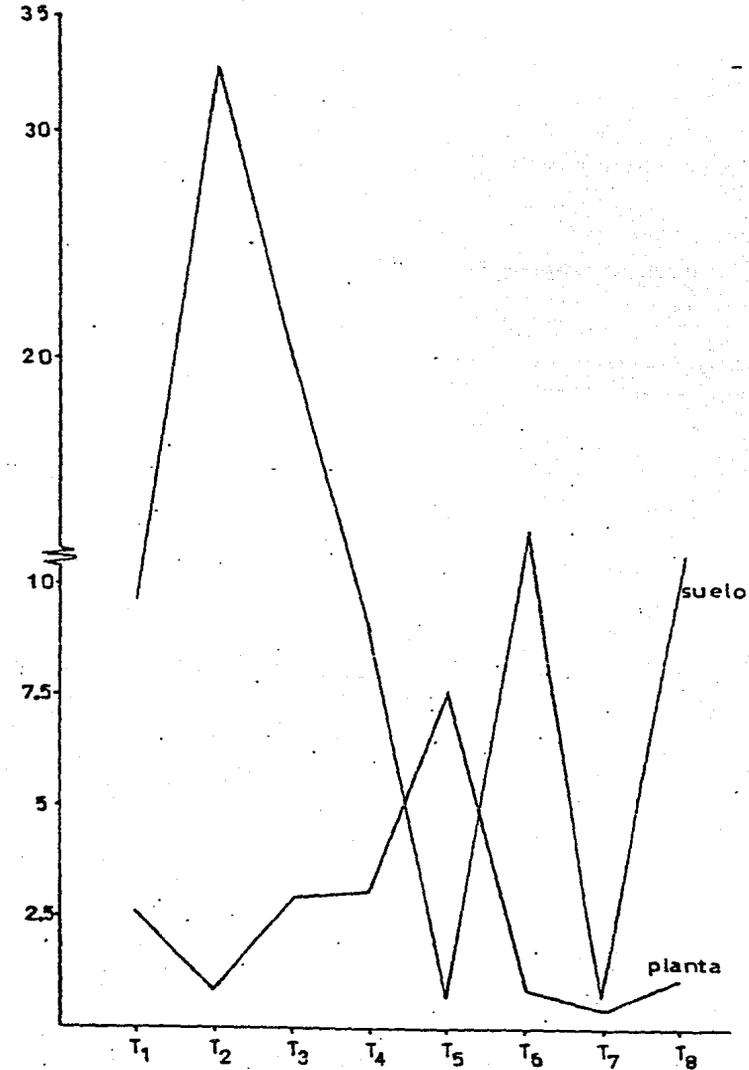
$Cu^{++}/Mn^{++}$ 

GRAFICA 10 Distribución de la relación Cu/Mn en la muestra de suelo y planta Santo Domingo.

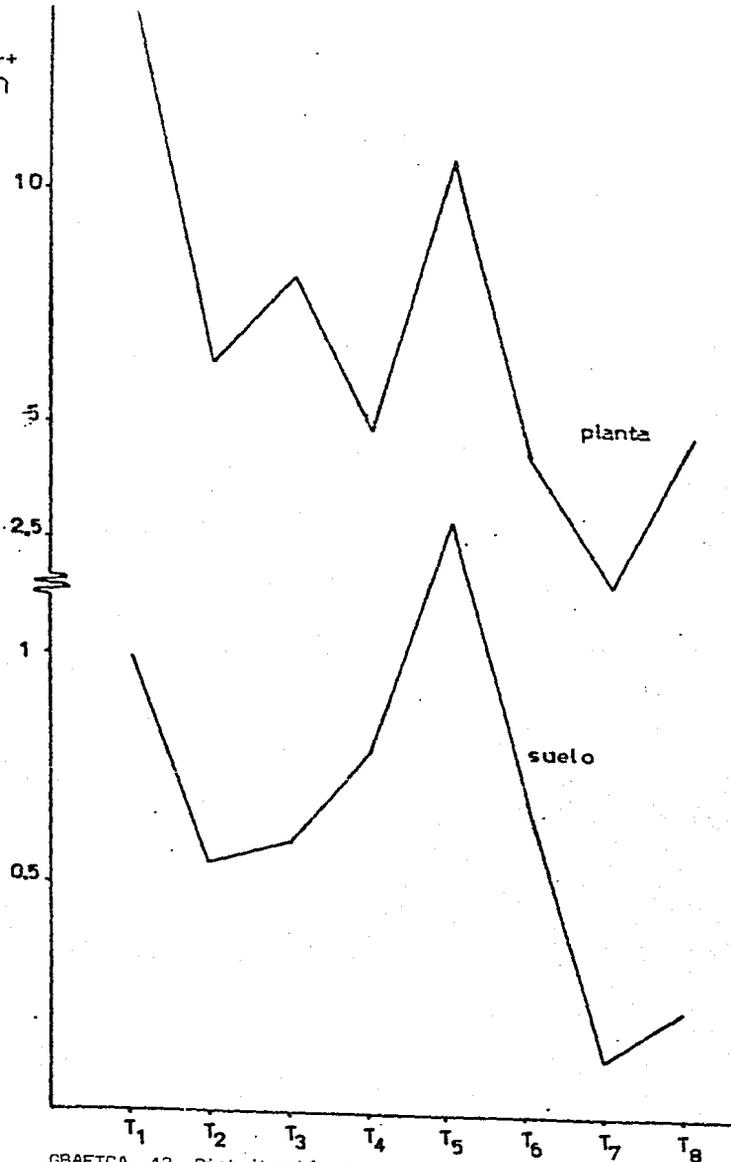


GRAFICA 11 Distribución de la relación Cu/Zn en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.

Fe<sup>++</sup>/Mn<sup>++</sup>

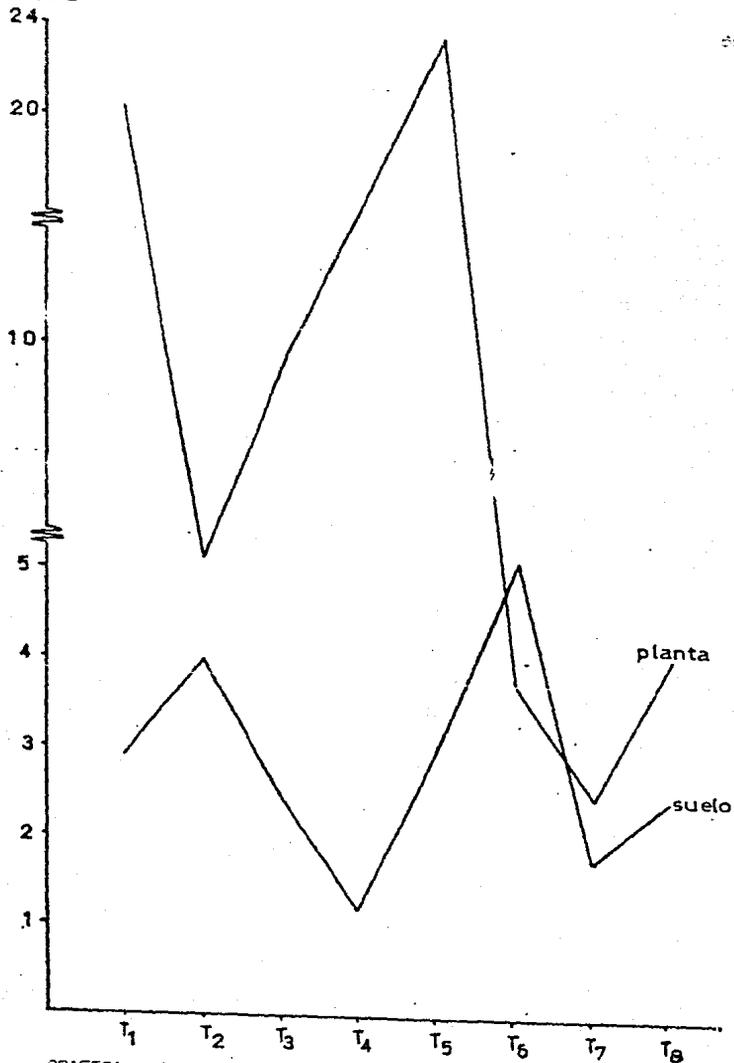


GRAFICA 12 Distribución de la relación Fe/Mn en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.

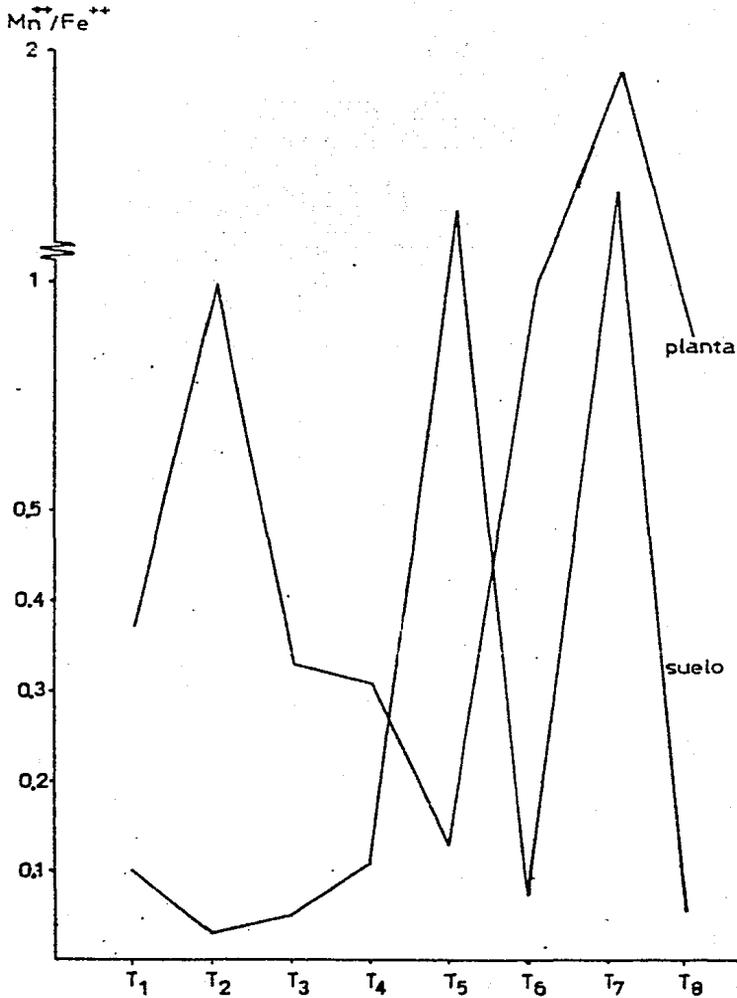
$Fe^{++}/Zn^{++}$ 

GRAFICA 13 Distribución de la relación  $Fe/Zn$  en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.

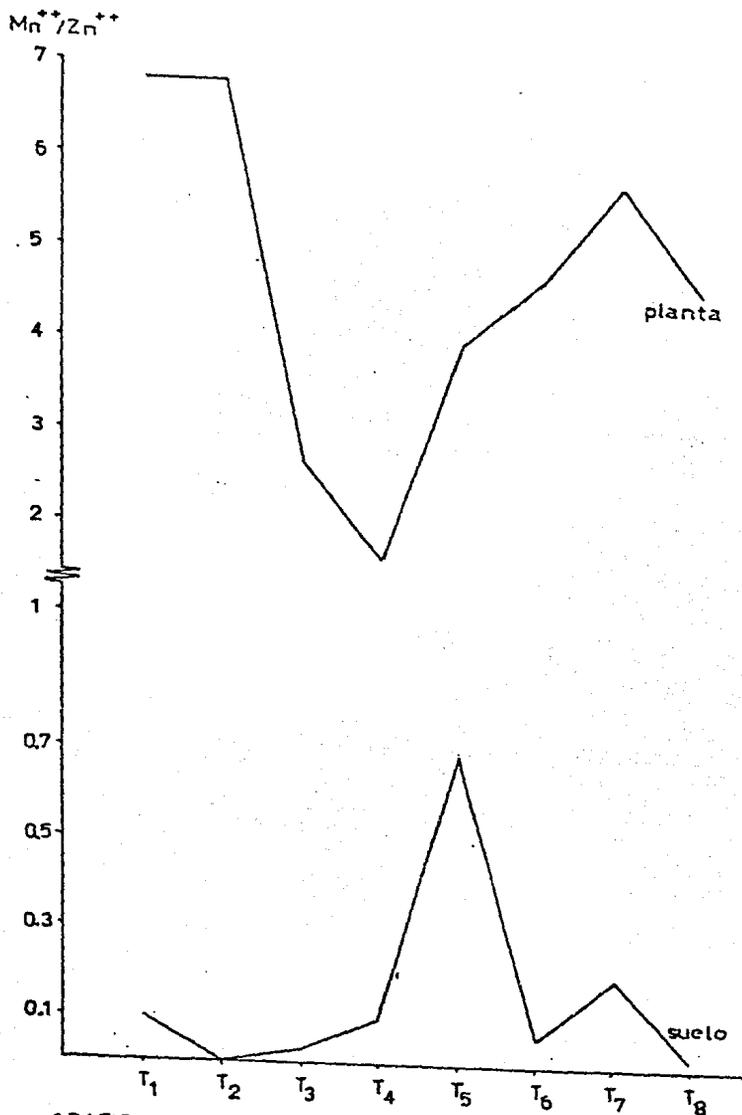
Fe<sup>2+</sup>/Cu<sup>2+</sup>



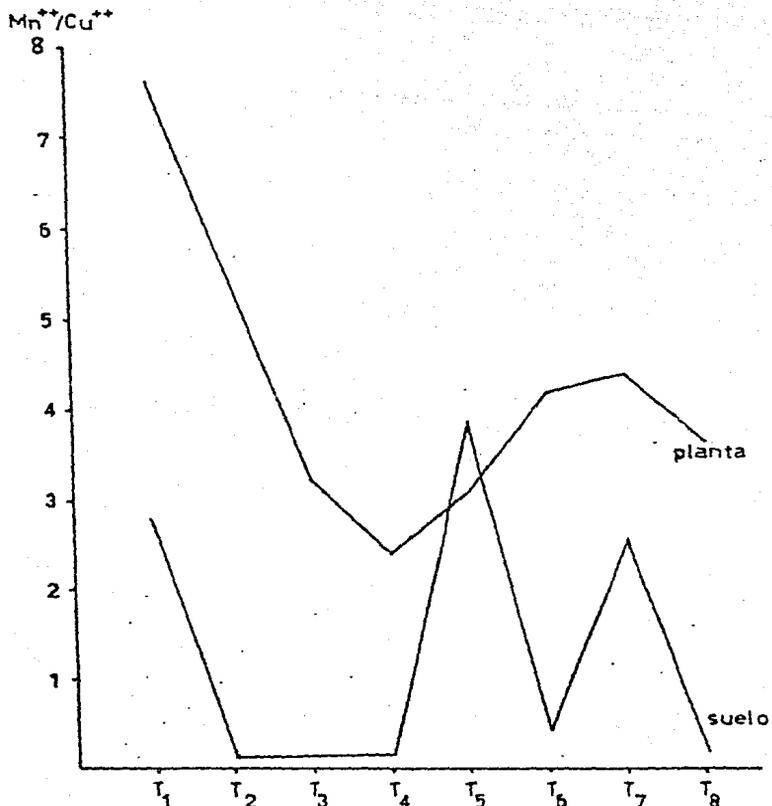
GRAFICA 14 Distribución de la relación Fe/Cu en la muestra de suelo y planta Santo Domingo.



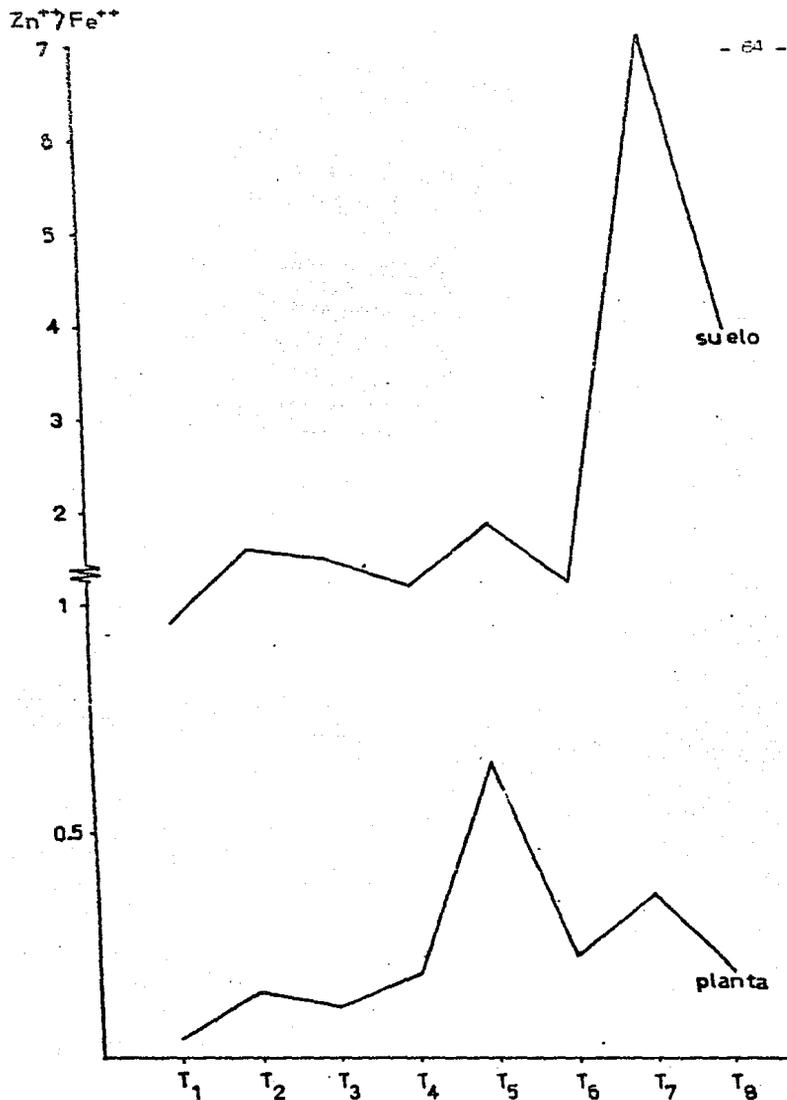
GRAFICA 15 Distribución de la relación Mn/Fe en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.



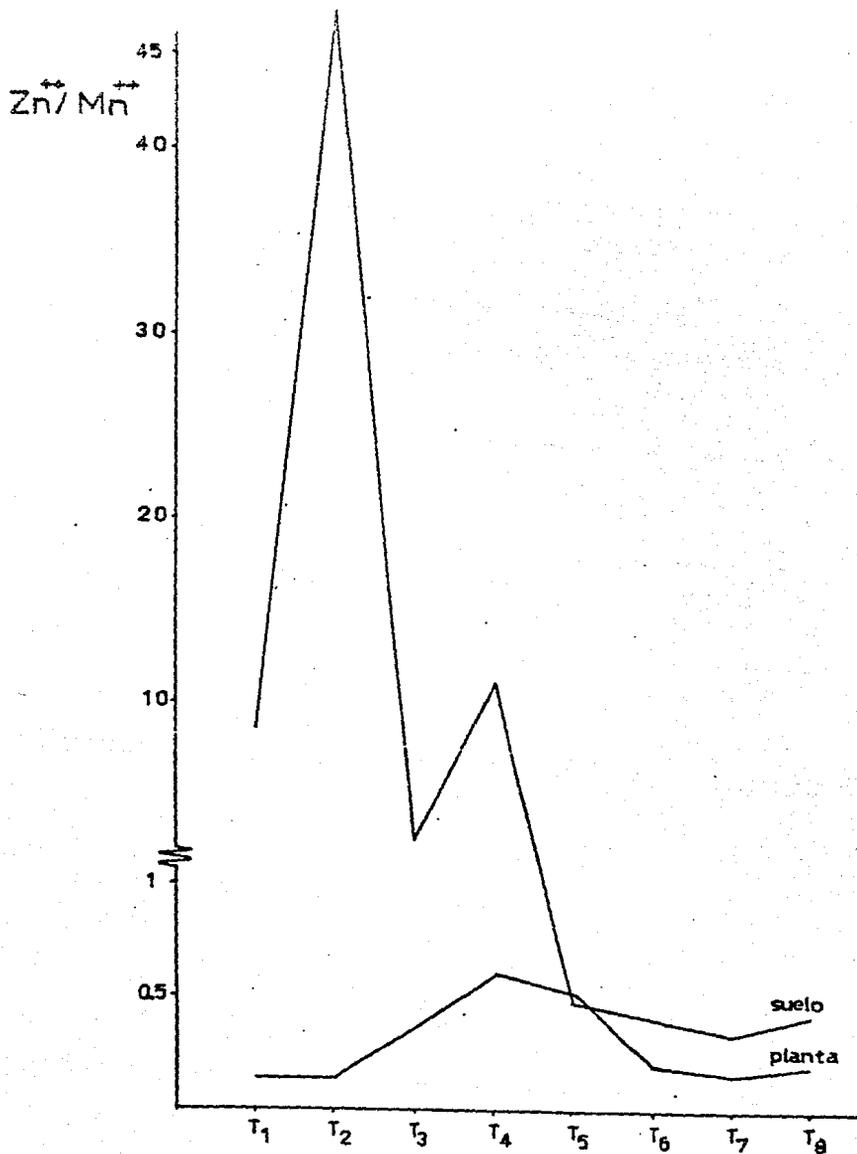
GRAFICA 16 Distribución de la relación Mn/Zn en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.



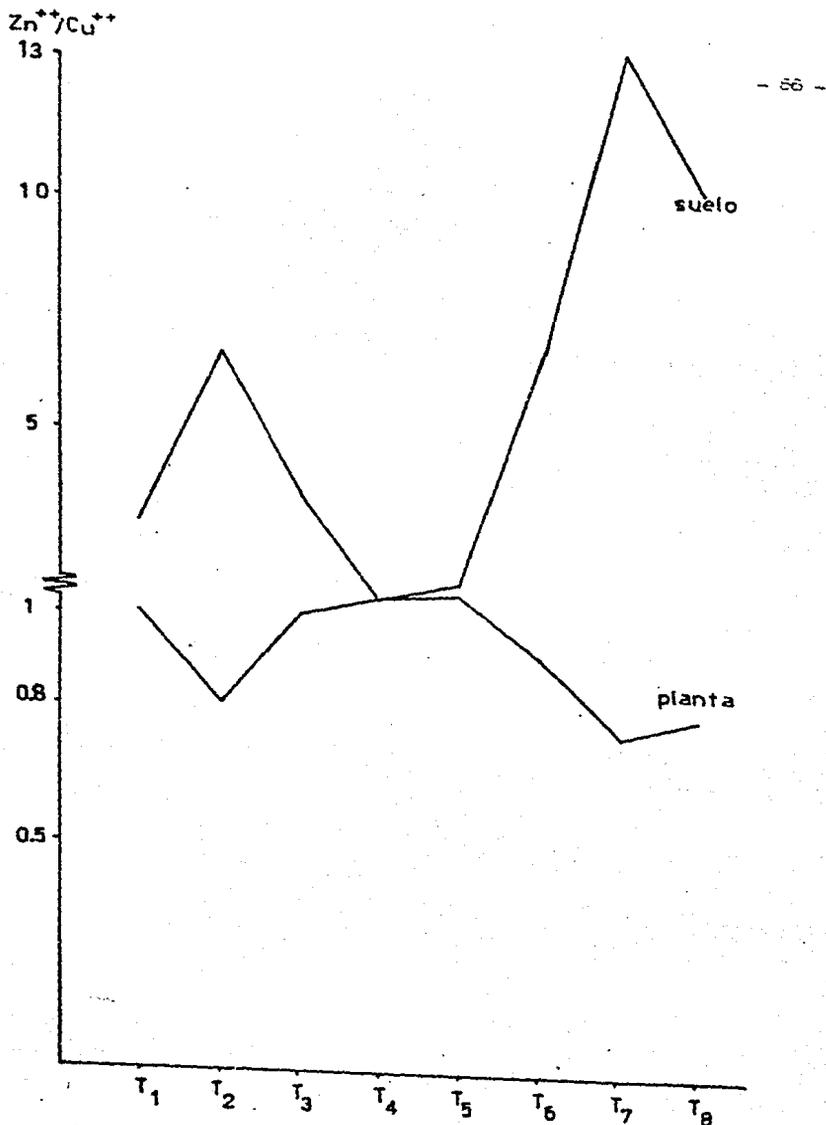
GRAFICA 17 Distribución de la relación Mn/Cu en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.



GRAFICA 18 Distribución de la relación Zn/Fe en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.



GRAFICA 19 Distribución de la relación Zn/Mn en la muestra de suelo 1 y planta Santo Domingo.



GRAFICA 20 Distribución de la relación Zn/Cu en la muestra de suelo 1 y planta Santa Domingo.

RESULTADOS DE LAS RELACIONES ENTRE LOS MICRONUTRIMENTOS  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$  y  $Zn^{++}$  DE LA MUESTRA DE SUELO 2 Y LECHUGA

TRATAMIENTOS meq/100 g	DISPONIBILIDAD Y CONCENTRACION DE LOS MICRONUTRIMENTOS									
	$P_2O_5$	$CaCO_3$	Cu/Fe	Cu/Mn	Cu/Zn	Fe/Mn	Fe/P	Fe/Cu	Mn/Fe	Mn/Zn
T <sub>1</sub>	160	0	suelo 0.66	0.80	0.74	1.20	1.7	1.50	0.88	0.9
			planta 0.21	0.21	0.60	1.00	2.4	4.72	0.99	2.8
T <sub>2</sub>	80	10	0.83	0.21	0.46	0.25	0.8	1.12	3.87	2.1
			0.14	0.18	0.56	1.12	3.8	6.99	0.80	3.1
T <sub>3</sub>	160	10	0.43	3.50	0.29	8.0	0.9	0.22	0.12	0.0
			0.15	0.34	0.45	2.24	3.0	6.57	0.44	1.0
T <sub>4</sub>	160	30	0.48	4.32	0.29	8.34	0.0	2.06	0.11	0.0
			0.18	0.38	0.54	2.11	2.0	5.51	0.47	1.4
T <sub>5</sub>	240	30	0.69	6.95	0.15	10.0	0.2	1.43	0.10	0.0
			0.10	0.33	0.49	3.07	4.1	9.29	0.32	1.4
	$P_2O_5$	$SiO_3$								
T <sub>6</sub>	160	300	0.71	0.80	0.30	1.13	0.10	1.40	0.88	0.3
			0.07	0.20	0.67	2.86	9.0	14.16	0.34	3.3
T <sub>7</sub>	160	400	0.83	0.98	0.27	1.18	0.03	1.20	0.84	0.2
			0.02	0.05	0.30	2.63	14.0	45.81	0.38	5.3
T <sub>8</sub>	240	300	0.68	0.34	0.80	0.50	1.09	1.47	1.99	2.3
			0.05	0.21	0.63	3.84	11.45	17.96	0.25	2.6

TABLA 6 Relación entre los micronutrientes  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$  y  $Zn^{++}$ , se muestran en las gráficas de la 21 a la 32.

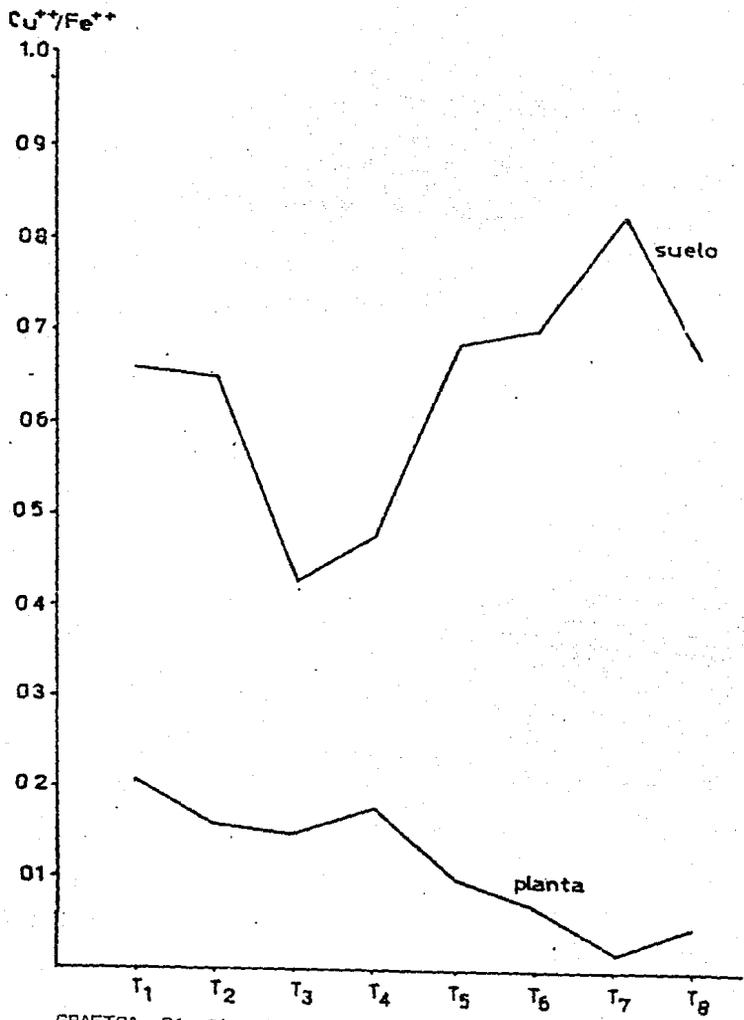
NUTRIMENTOS  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  DE LA MUESTRA DE SUELO 2 Y LECHUGA (Lactuca sativa ).

DISPONIBILIDAD Y CONCENTRACION DE LOS MICRONUTRIMENTOS

p m

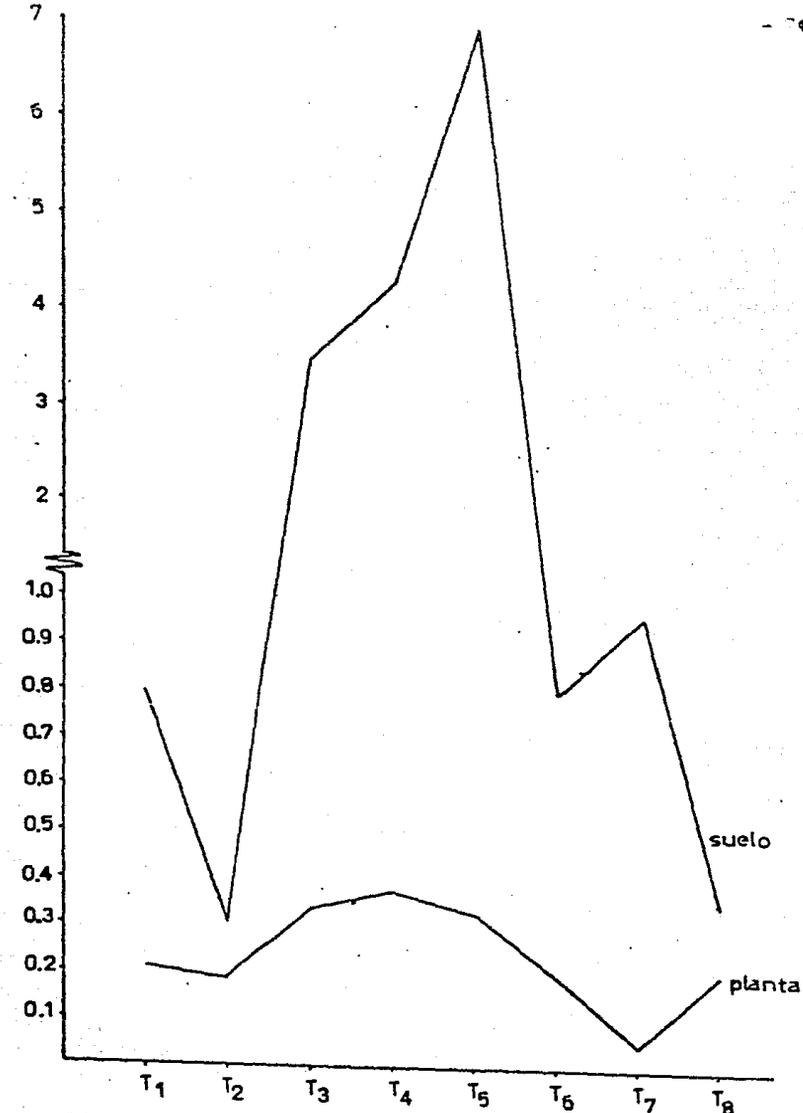
Cu/Zn	Fe/Mn	Fe/n	Fe/Cu	Mn/Fe	Mn/Zn	Mn/Cu	Zn/Fe	Zn/mn	Zn/Cu
0.74	1.20	1. p	1.50	0.88	0.92	1.25	0.9	1.08	1.35
0.60	1.00	2. p	4.72	0.99	2.81	4.66	0.35	1.66	0.25
0.46	0.25	0. b	1.12	3.87	2.16	4.65	1.79	0.46	2.15
0.56	1.12	3. p	6.99	0.80	3.10	5.51	0.25	0.32	1.77
0.29	8.0	0 p	0.22	0.12	0.08	0.28	1.48	11.87	3.39
0.45	2.24	3 p	6.57	0.44	1.34	2.93	0.33	0.74	2.18
0.29	8.94	0 b	2.06	0.11	0.06	0.23	1.64	14.68	3.32
0.54	2.11	2 p	5.51	0.47	1.41	2.61	0.33	0.70	1.84
0.15	10.0	0. 2	1.43	0.10	0.02	0.14	4.53	45.39	6.52
0.49	3.07	4. 1	9.29	0.32	1.49	3.02	0.21	0.66	2.01
0.30	1.13	0.12	1.40	0.88	0.37	1.24	2.36	2.68	3.33
0.67	2.86	9. p	14.16	0.34	3.33	4.93	0.10	0.29	1.48
0.27	1.18	0.13	1.20	0.84	0.28	1.01	3.0	3.54	3.6
0.30	2.63	14. p	45.81	0.38	5.37	1.74	0.07	0.18	3.23
0.80	0.50	1.14	1.47	1.99	2.36	2.92	0.84	0.42	1.23
0.63	3.84	11.45	17.96	0.25	2.98	4.67	0.08	0.33	1.56

$\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$ , se muestran en las gráficas de la 21 a la 32.

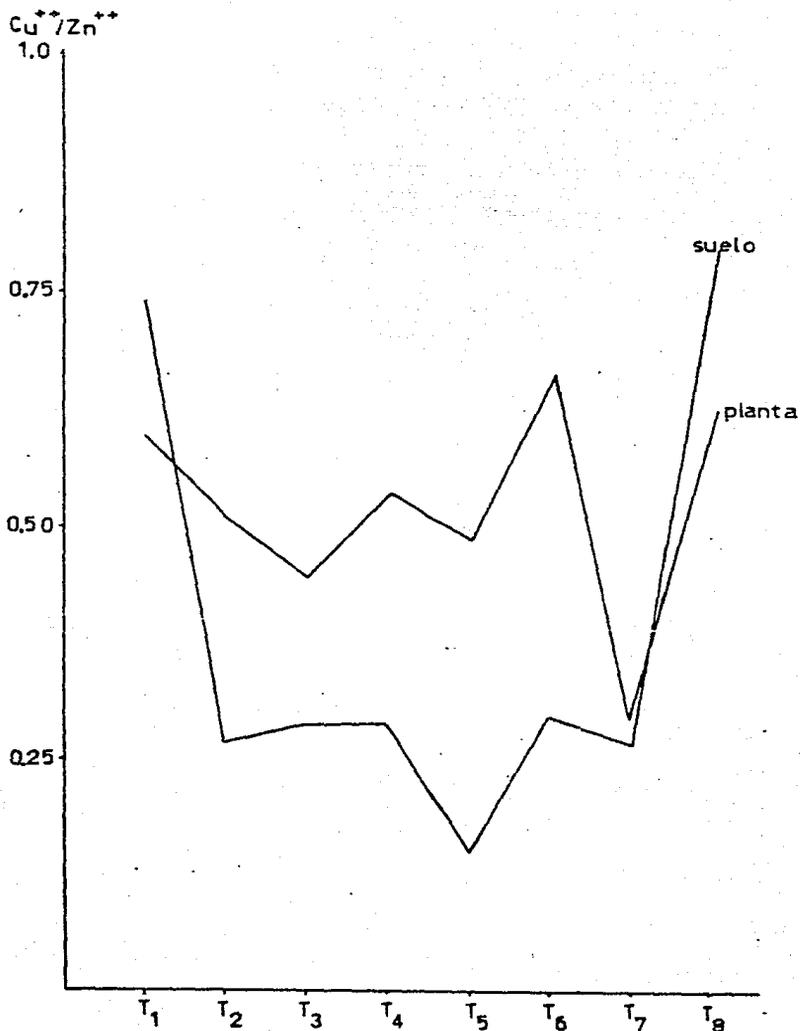


GRAFICA 21. Distribución de la relación Cu/Fe en la muestra de suelo 2 y planta Independencia.

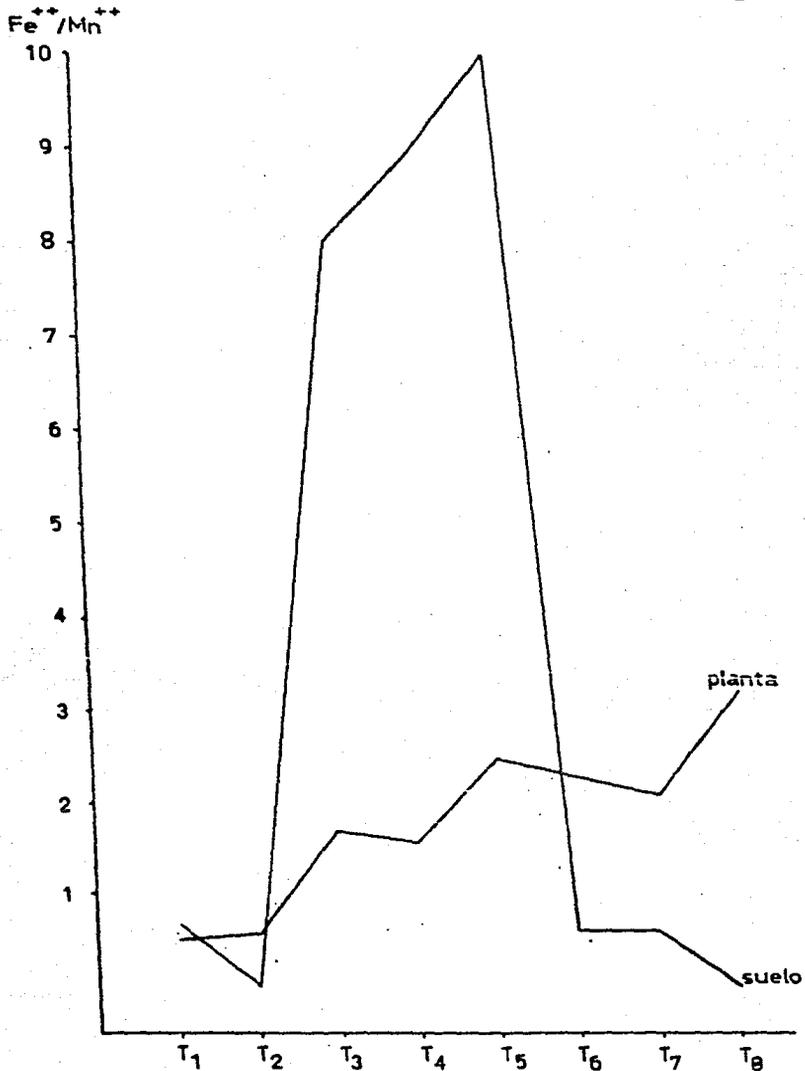
$Cu^{++}/Mn^{++}$



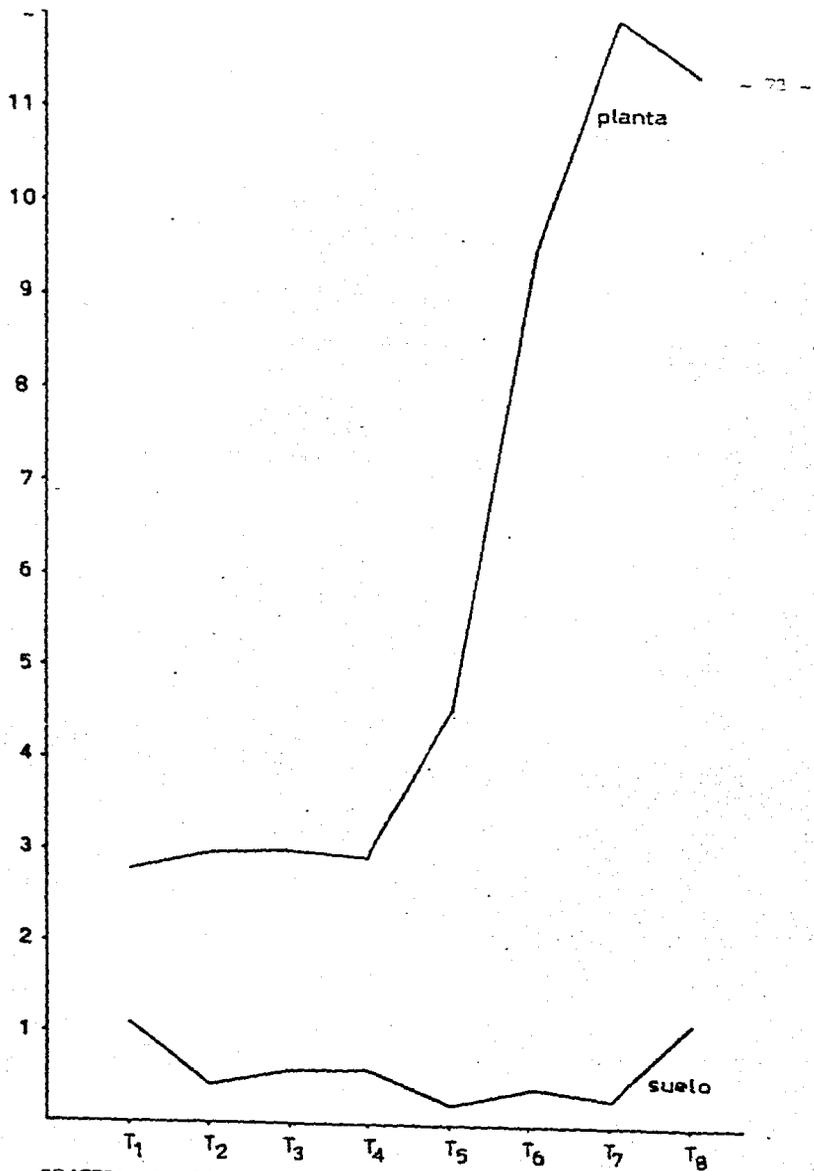
GRAFICA 22. Distribución de la relación Cu/Mn en la muestra de suelo 2 y planta Independencia.



GRAFICA 23 Distribución de la relación Cu/Zn en la muestra de suelo 2 y planta Independencia.



GRAFICA 24 Distribución de la relación Fe/Mn en la muestra de suelo 2 y planta Independencia.



GRAFICA 25 Distribución de la relación Fe/Zn en la muestra de suelo 2 y planta Independencia.

++ \*\*  
Fe/ Cu

40  
30

20

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

74

planta

suelo

T<sub>1</sub>

T<sub>2</sub>

T<sub>3</sub>

T<sub>4</sub>

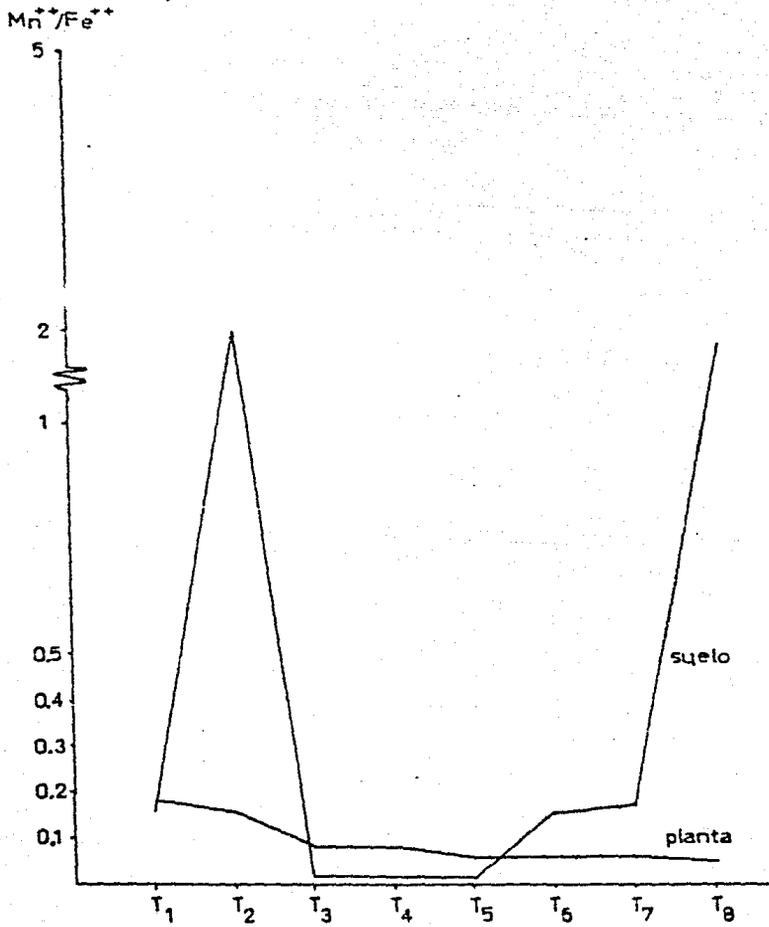
T<sub>5</sub>

T<sub>6</sub>

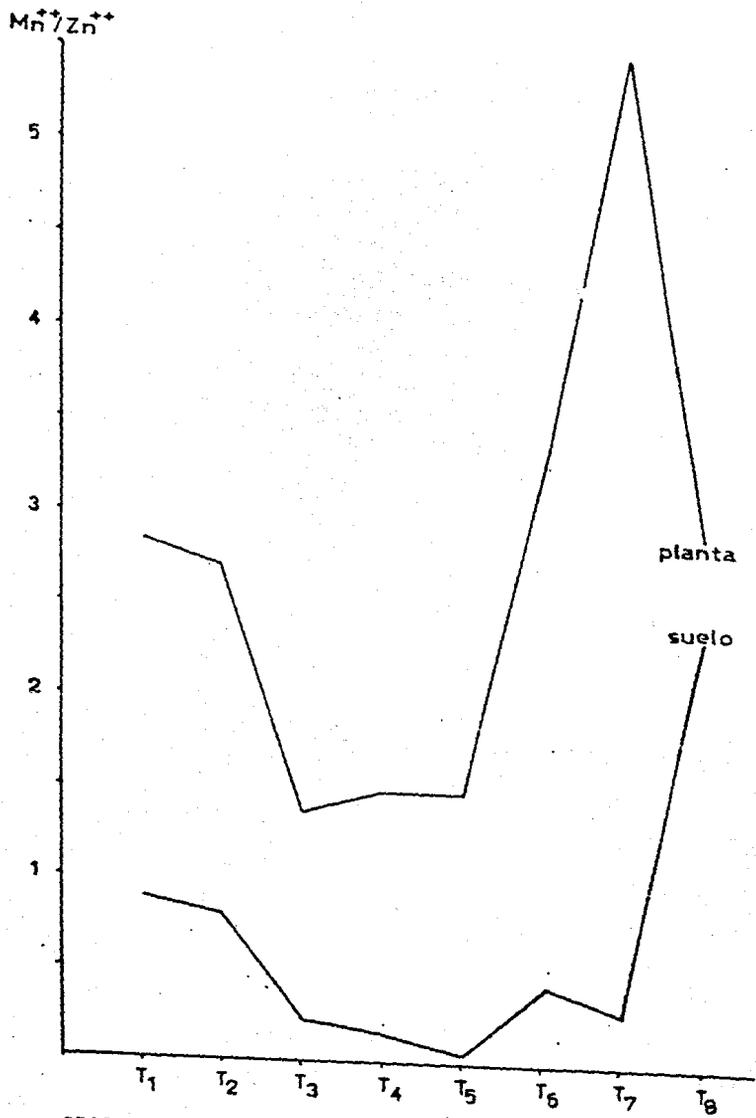
T<sub>7</sub>

T<sub>8</sub>

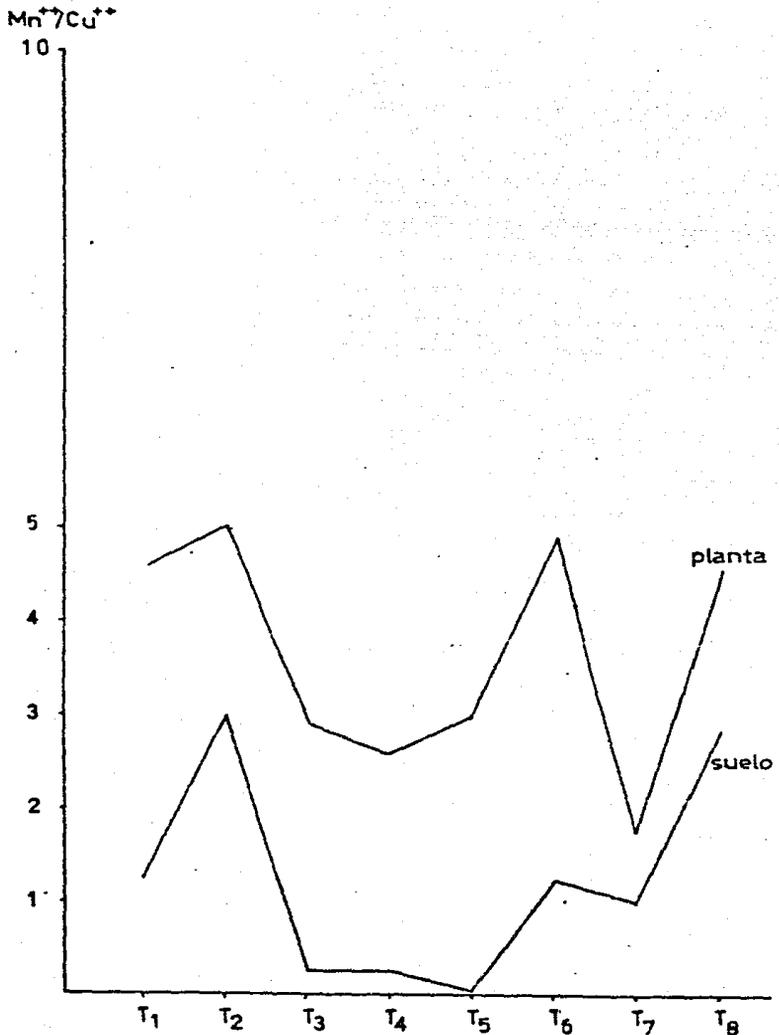
GRAFICA 26 Distribución de la relación  $\text{Fe}^{++}/\text{Cu}^{++}$  en la muestra de suelo 2 y planta. Independencia.



GRAFICA 27 Distribución de la relación Mn/Fe en la muestra de suelo y planta Independencia.



GRAFICA 28 Distribución de la relación Mn/Zn en la muestra de suelo y planta Independencia.



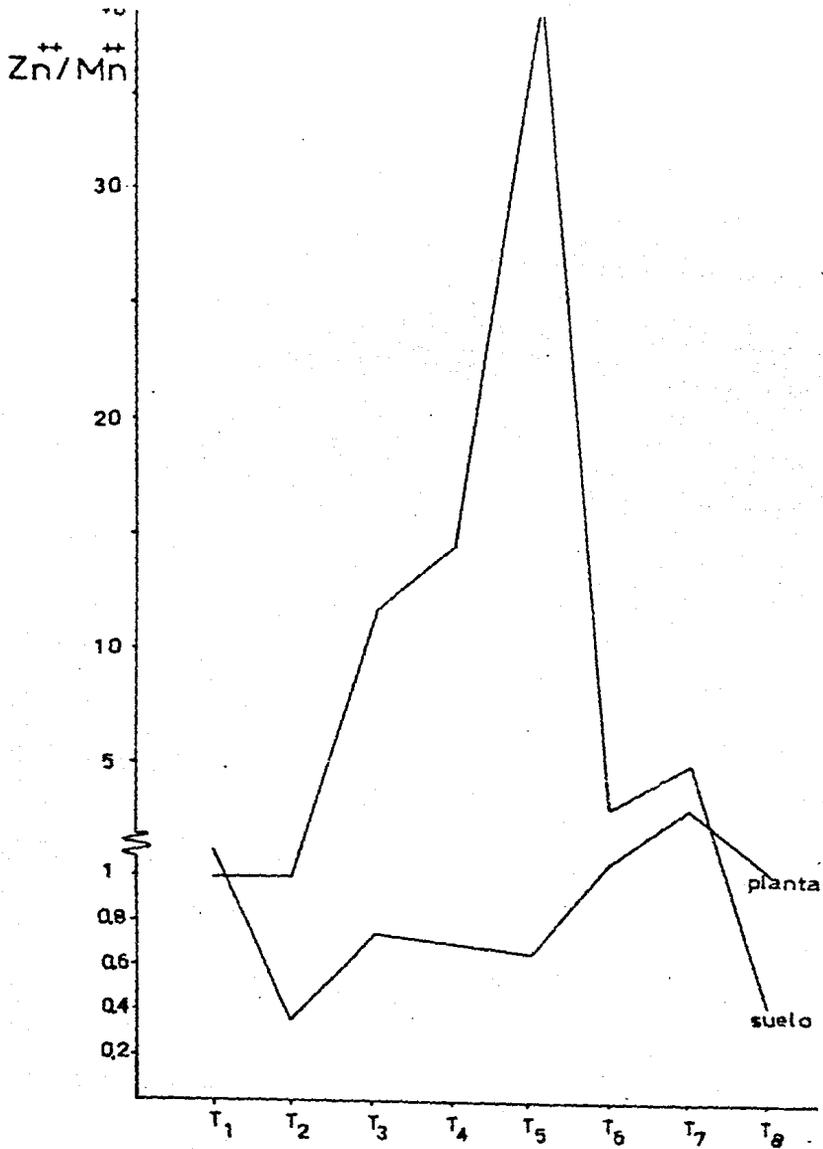
GRAFICA 29 Distribución de la relación Mn/Cu en la muestra de suelo y planta Independencia.

Zn<sup>+</sup>/Fe<sup>++</sup>

- 73 -



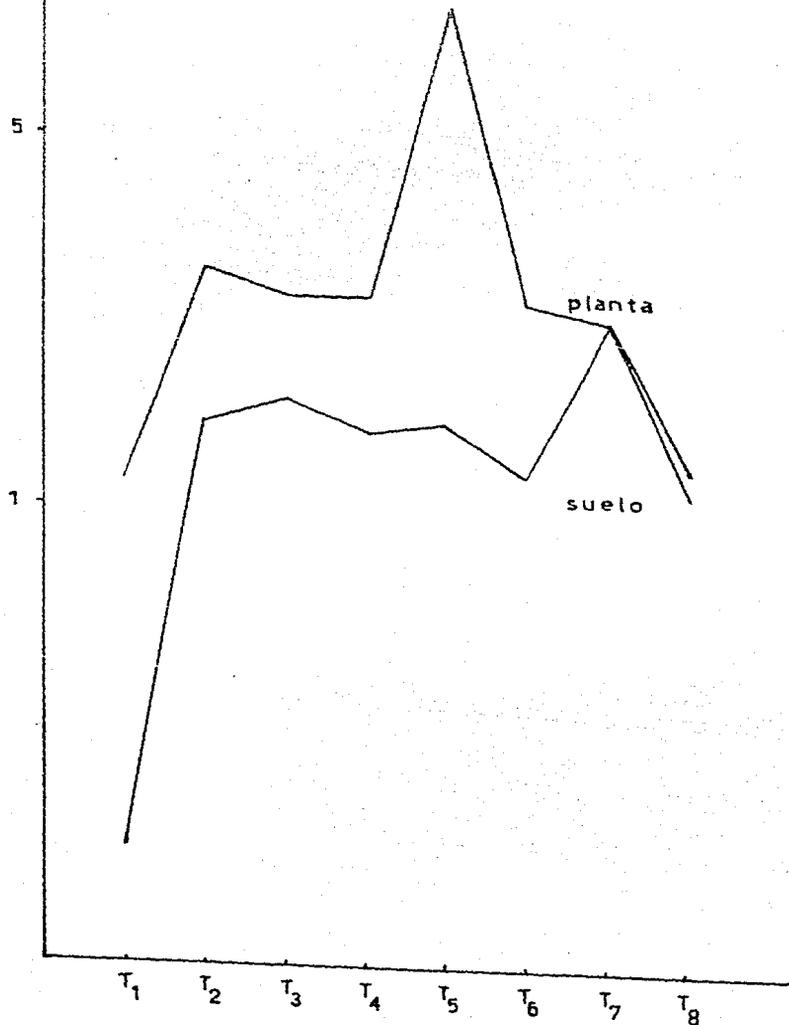
GRAFICA 30 Distribución de la relación Zn/Fe en la muestra de suelo y planta Independencia.



GRAFICA 31 Distribución de la relación Zn/Mn en la muestra de de suelo y planta Independencia.

$Zn^{++}/Cu^{++}$

78<sup>5</sup>



GRAFICA 32 Distribución de la relación Zn/Cu en la muestra de suelo y planta Independencia.

## VII. DISCUSION

### $\text{Cu}^{++}$

En la gráfica 1, tablas 1 y 2 se muestran los resultados de suelo y planta de la muestra 1 Santo Domingo, se observa que la máxima disponibilidad de  $\text{Cu}^{++}$  en suelos es al aplicar 150 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 10 meq de  $\text{CaCO}_3$ , la máxima concentración en plantas se alcanza cuando se aplican 80 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 10 meq de  $\text{CaCO}_3$ , en ambos se observa que tanto en suelo como en planta al aumentar el tratamiento de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{CaCO}_3$  la disponibilidad y concentración del  $\text{Cu}^{++}$  disminuye. Cuando se aplica el tratamiento fósforo silicio la máxima disponibilidad y concentración en la planta es al aplicar la dosis máxima de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y dosis media de metasilicato.

### $\text{Fe}^{++}$

En la gráfica 2 tablas 1 y 2 se muestran los resultados de las muestras de suelo y planta, la máxima disponibilidad de  $\text{Fe}^{++}$  en suelo es al aplicar 80 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 10 meq de  $\text{CaCO}_3$  y disminuye al aplicar 160 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 30 meq de  $\text{CaCO}_3$  esto concuerda con diversos autores en el cual sugieren que hay una inmovilización interna del  $\text{Fe}^{++}$  por la formación de fosfato de fierro. En la lechuga Lactuca sativa la concentración de  $\text{Fe}^{++}$  encontrada fue la máxima al aplicarse 160 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 240 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 30 meq de  $\text{CaCO}_3$ , hay una disminución del contenido de  $\text{Fe}^{++}$  en el tratamiento de 80 ppm y 160 de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , con respecto al tratamiento fósforo silicio la máxima disponibilidad del  $\text{Fe}^{++}$  es cuando se aplican 160 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 300 ppm de metasilicato; disminuyendo en el tratamiento 160 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 400 ppm de metasilicato de sodio; con respecto a la máxima concentración de  $\text{Fe}^{++}$  en las plantas se obtiene al aplicar 240 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 300 ppm de metasilicato de sodio disminuyendo la disponibilidad en el suelo y concentración en las plantas en el tratamiento 160 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 400 ppm de metasilicato de sodio.

Mn<sup>++</sup>

En la gráfica 3 tablas 1 y 2 se muestran los resultados de suelo y planta de la muestra 1 Santo Domingo se observa que la máxima disponibilidad del Mn<sup>++</sup> fue cuando se aplican 240 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 30 meq de CaCO<sub>3</sub> y 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivamente, aunque en general en el resto de los tratamientos el contenido de Mn<sup>++</sup> es muy bajo, la concentración de Mn<sup>++</sup> en la lechuga Lactuca sativa es máxima al aplicar 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, permaneciendo la concentración del Mn<sup>++</sup> constante cuando se aplican las dosis máximas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CaCO<sub>3</sub> este efecto podría relacionarse a la relación Fe<sup>++</sup>/ Mn<sup>++</sup>. La mínima concentración del Mn<sup>++</sup> fue al aplicar 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 30 meq de CaCO<sub>3</sub>, al agregar el tratamiento fósforo silicio la máxima disponibilidad y concentración para suelo y planta se presenta con el tratamiento 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 400 ppm de metasilicato de sodio disminuyendo la disponibilidad y concentración cuando se aplica la máxima dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y dosis media de metasilicato de sodio.

Zn<sup>++</sup>

En la gráfica 4 tablas 1 y 2 se observa que la máxima disponibilidad de Zn<sup>++</sup> es al aplicar la dosis de 80 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 10 meq de CaCO<sub>3</sub>, disminuyendo al aumentar la dosis de los tratamientos, esto se relaciona con anteriores investigaciones en el cual se ha observado la reducción de la disponibilidad del Zn<sup>++</sup>, Cu<sup>++</sup>, SO<sub>3</sub> al agregar dosis altas de fosfatos. Con respecto a las máximas concentraciones de Zn<sup>++</sup> en la lechuga Lactuca sativa se obtuvieron, cuando se aplican las máximas dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CaCO<sub>3</sub>, permaneciendo las concentraciones constantes en los tratamientos 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 10 y 30 meq de CaCO<sub>3</sub>. Con adición del tratamiento fósforo-silicio la máxima disponibilidad del Zn<sup>++</sup> corresponde a la dosis 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 300 ppm de metasilicato disminuyendo la disponibilidad y concentración tanto en suelo como en planta al aplicarse 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 400 ppm de metasilicato de sodio.

Cu<sup>++</sup>

En la gráfica 5 tablas 3 y 4 se muestran los resultados en suelos y planta de la muestra de suelo 2 Independencia, se observa que la mayor disponibilidad de Cu<sup>++</sup> se obtuvo en los tratamientos 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 240 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 30 meq de CaCO<sub>3</sub>, la concentración de Cu<sup>++</sup> en la planta en los tratamientos 80 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 10 meq de CaCO<sub>3</sub> y 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 30 meq de CaCO<sub>3</sub> es mayor, permaneciendo las concentraciones constantes en los demás tratamientos de 160 ppm y 240 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Con respecto a la aplicación de los tratamientos fósforo-silicio la disponibilidad máxima del Cu<sup>++</sup> se presenta cuando se aplican 240 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 300 ppm de metasilicato y la concentración máxima de Cu<sup>++</sup> en las plantas de lechuga es al aplicar 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 300 ppm de metasilicato de sodio, la mínima concentración de Cu<sup>++</sup> en el tratamientos de 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 400 ppm de metasilicato de sodio.

Fe<sup>++</sup>

En la gráfica 6 tablas 3 y 4 se muestran los resultados de suelos y planta de la muestra 2 Independencia se observa que la máxima disponibilidad para el Fe<sup>++</sup> es cuando se aplican 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 240 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 30 meq de CaCO<sub>3</sub> y la menor disponibilidad se presenta cuando se aplica dosis mínimas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CaCO<sub>3</sub>, la máxima concentración de Fe<sup>++</sup> en lechuga (Lactuca sativa L) se obtuvo al aplicar 240 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 30 meq de CaCO<sub>3</sub>, permaneciendo constantes los valores al aplicar las diferentes dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CaCO<sub>3</sub>, las concentraciones mínima de Fe<sup>++</sup> correspondieron al tratamiento 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, cuando se aplican los tratamientos fósforo-silicio la mayor disponibilidad del Fe<sup>++</sup> se presenta con las dosis máximas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y dosis media de metasilicato posiblemente hubo competencia por los sitios activos, reflejándose una mayor disponibilidad de Fe<sup>++</sup>, lo mismo sucede en la planta ya que la máxima concentración de Fe<sup>++</sup> se obtuvo con el tratamiento 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 400 ppm de metasilicato de sodio.

Mn<sup>++</sup>

En la gráfica 7 tablas 3 y 4, se muestran los resultados de suelo y planta de la muestra 2 Independencia; se observa que la máxima disponibilidad del Mn<sup>++</sup> se presenta cuando se aplica 80 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 10 meq de CaCO<sub>3</sub>, al aumentar la dosis de los tratamientos disminuye su disponibilidad debido posiblemente a la mayor presencia de Fe<sup>++</sup> en esta dosis ya que como se sabe la presencia de Fe<sup>++</sup> inhibe al Mn<sup>++</sup> esto concuerda con estudios anteriores de Sutton y Hallsworth, (1958). La máxima concentración del Mn<sup>++</sup> en las plantas se observa también al aplicar 80 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 10 meq de CaCO<sub>3</sub> permaneciendo constantes los valores durante todos los tratamientos. Con respecto a los tratamientos fósforo-silicio la máxima disponibilidad del Mn<sup>++</sup> es al aplicarse las máximas dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y dosis medias de metasilicato, la concentración máxima de Mn<sup>++</sup> en lechuga se obtuvo con el tratamiento 240 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 400 ppm de metasilicato de sodio, esto posiblemente se atribuye a la competencia del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y metasilicato dejando la máxima concentración de Mn<sup>++</sup>.

Zn<sup>++</sup>

En la gráfica 8 tablas 3 y 4, se muestran los resultados de suelo y planta de la muestra 2 Independencia se observa que la máxima disponibilidad del Zn<sup>++</sup> se obtuvo al aplicar las dosis altas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y CaCO<sub>3</sub> permaneciendo los valores en forma constante, al aplicar los diferentes tratamientos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> la máxima concentración de Zn<sup>++</sup> en plantas de lechuga (Lactuca sativa L) corresponden al tratamiento 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 10 a 30 meq de CaCO<sub>3</sub>. Con los tratamientos de fósforo silicio se puede observar que la máxima disponibilidad de Zn<sup>++</sup> se obtiene al aplicar el tratamiento de 160 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 400 ppm de metasilicato de sodio, las concentraciones máximas en lechuga en estos tratamientos es la misma para suelos.

## CONCLUSIONES.

En el suelo de la muestra 1 Santo Domingo Municipio de Unión de Juárez se puede observar que los micronutrientes disponibles para las plantas se encuentran en el siguiente orden  $Fe^{++}$   $Zn^{++}$   $Mn^{++}$   $Cu^{++}$ .

La disponibilidad del  $Fe^{++}$  oscila entre 6.80 a 24.40 ppm,  $Zn^{++}$  de 8.40 a 41.04 ppm,  $Mn^{++}$  de 0.74 a 19 ppm,  $Cu^{++}$  de 4.80 a 7.20 ppm.

Se observó que el efecto más favorable en cuanto a la disponibilidad de micronutrientes corresponde a la aplicación, la dosis mínima de  $P_2O_5$  y  $CaCO_3$  hay mayor disponibilidad de  $Fe^{++}$  y  $Zn^{++}$ , al ir aumentando la dosis de  $P_2O_5$  y con aplicación de  $CaCO_3$ , el  $Cu^{++}$  y  $Zn^{++}$  son menos disponibles, en todos los demás tratamientos la disponibilidad del  $Mn^{++}$  es menor, excepto al aplicarse 240 ppm de  $P_2O_5$  y 30 meq de  $CaCO_3$

La máxima disponibilidad para el  $Cu^{++}$  se obtuvo al aplicar 240 ppm de  $P_2O_5$  y dosis media de metasilicato de sodio; mientras que el tratamiento 160 ppm de  $P_2O_5$  y 300 ppm de metasilicato el  $Mn^{++}$  y  $Zn^{++}$  se obtienen una mayor disponibilidad, en el tratamiento 160 ppm de  $P_2O_5$  y 400 ppm de metasilicato resultó menos favorable para todos los micronutrientes excepto para el  $Mn^{++}$

Las concentraciones de micronutrientes absorbidos por la lechuga (Lactuca sativa L) con este mismo suelo se encuentran en el siguiente orden  $Fe^{++}$   $Mn^{++}$   $Zn^{++}$   $Cu^{++}$ , el  $Fe^{++}$  varía de 303.7 a 1123.20 ppm,  $Mn^{++}$  de 112.70 a 420 ppm,  $Zn$  de 47.0 a 73.7 y el  $Cu^{++}$  de 45.50 a 58.0. La máxima concentración de  $Fe^{++}$  y  $Mn^{++}$  se alcanza cuando se aplica 160 ppm de  $P_2O_5$ , la concentración mínima de  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $Zn^{++}$  es al aplicar el tratamiento 80 ppm de  $P_2O_5$  y 10 meq de  $CaCO_3$ , con el tratamiento máximo de  $P_2O_5$  y  $CaCO_3$  el  $Fe^{++}$  y  $Zn^{++}$  son mayores.

Al aplicar el tratamiento de 160 ppm de  $P_2O_5$  y 300 ppm de metasilicato, la concentración de  $Mn^{++}$  y  $Zn^{++}$  son mayores, en el tratamiento 160 ppm de  $P_2O_5$  y 400 ppm de metasilicato la concentración de  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$  y  $Zn^{++}$  son menores excepto para el  $Mn^{++}$  en el cual la concentración es máxima; al aplicarse 240 ppm de  $P_2O_5$  y 300 ppm de metasilicato, la máxima concentración en la planta es para el  $Cu^{++}$  y  $Fe^{++}$ .

En el suelo de la muestra 2 Independencia Municipio de Tapachula, se puede observar que la disponibilidad de los micronutrientes para las plantas se encuentra en el siguiente orden  $Zn^{++}$   $Fe^{++}$   $Cu^{++}$   $Mn^{++}$ , la disponibilidad del  $Zn^{++}$  varía de 8.60 a 41.76 ppm,  $Fe^{++}$  de 4.80 a 9.60 ppm,  $Cu^{++}$  de 2.80 a 6.40 ppm y  $Mn^{++}$  de 0.62 a 18.60 ppm.

La máxima disponibilidad del  $Cu^{++}$  y  $Fe^{++}$  corresponde al tratamiento de 160 ppm de  $P_2O_5$ , y con dosis de 80 ppm de  $P_2O_5$  y 10 meq de  $CaCO_3$  el  $Mn^{++}$  es más disponible que el  $Zn^{++}$ ,  $Fe^{++}$  y  $Cu^{++}$ , al aumentar a 160 ppm de  $P_2O_5$  y 10 meq de  $CaCO_3$  hay menor disponibilidad para el  $Cu^{++}$  y  $Mn^{++}$ , al aplicarse a 30 meq de  $CaCO_3$ , la máxima disponibilidad es para el  $Zn^{++}$  y  $Fe^{++}$ , al aumentar la dosis de 240 ppm y mantener las ppm de  $CaCO_3$ , la máxima disponibilidad es para el  $Cu^{++}$   $Fe^{++}$  y  $Zn^{++}$ .

Con respecto al tratamiento fósforo-silicio de 160 ppm de  $P_2O_5$  y 400 ppm de metasilicato, la máxima disponibilidad solo es para el  $Zn^{++}$ , cuando se aplican 240 ppm de  $P_2O_5$  y 300 ppm de metasilicato la máxima disponibilidad es para el  $Cu^{++}$ ,  $Fe^{++}$  y  $Mn^{++}$ .

La concentración de micronutrientes absorbidos por la lechuga (Lactuca sativa) en este mismo suelo es la siguiente  $Fe^{++}$   $Mn^{++}$   $Zn^{++}$   $Cu^{++}$ , el  $Fe^{++}$  varía de 241 a 437 ppm,  $Mn$  de 141 a 450 ppm,  $Zn$  de 84.7 a 110.5. Al aplicarse 160 ppm de  $P_2O_5$ , la máxima concentración solo es para el  $Mn^{++}$ , cuando se aplica el tratamiento 80 ppm de  $P_2O_5$  y 10 meq de  $CaCO_3$ , la concentración máxima es para el  $Cu^{++}$  y  $Mn^{++}$ , cuando se aplica el tratamiento 160 ppm de  $P_2O_5$  y 30 meq de

$\text{CaCO}_3$ , la concentración máxima es para el  $\text{Cu}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$ .

Tanto en suelo como en planta la máxima disponibilidad y concentración es para el  $\text{Mn}^{++}$  cuando se aplica 80 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 10 meq de  $\text{CaCO}_3$  y para el  $\text{Fe}^{++}$  corresponde al tratamiento 240 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 30 meq de  $\text{CaCO}_3$ .

Con el tratamiento fósforo silicio de 160 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 300 ppm de metasilicato la concentración máxima solo es para el  $\text{Cu}^{++}$  y con solo aumentar la dosis de metasilicato se obtienen las máximas concentraciones de  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  en las plantas, cuando se aplican dosis alta  $\text{P}_2\text{O}_5$  y dosis medias de metasilicato la concentración de los micronutrientes se mantiene constante.

#### Recomendaciones

Aunque la proporción de los micronutrientes analizados es diferente en suelo y planta se puede sugerir que se apliquen los siguientes tratamientos;

En el suelo 1 Santo Domingo para obtener la óptima disponibilidad y concentración se puede aplicar 160 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 300 meq de  $\text{CaCO}_3$ ; para el  $\text{Cu}^{++}$  la máxima disponibilidad y concentración se obtendrían con el tratamiento 240 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 300 ppm de metasilicato de sodio, la máxima disponibilidad del  $\text{Fe}^{++}$  se obtiene con el tratamiento 80 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 10 meq de  $\text{CaCO}_3$ , pero para obtener la máxima concentración de  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$  y  $\text{Cu}^{++}$  en lechuga se tiene que aplicar 160 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 10 meq de  $\text{CaCO}_3$ , esta dosis coincide con el mayor peso de materia seca, para el  $\text{Mn}^{++}$  la máxima disponibilidad es al aplicar 240 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 30 meq de  $\text{CaCO}_3$ .

En el suelo 2 se puede observar que la máxima disponibilidad para el  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$  y  $\text{Mn}^{++}$  se produce con el tratamiento 240 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 300 meq de  $\text{CaCO}_3$  y para obtener la máxima disponibilidad de  $\text{Zn}^{++}$  se debe aplicar 240 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 30 meq de  $\text{CaCO}_3$ .

La máxima concentración en la lechuga de  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  y  $\text{Zn}^{++}$  se obtuvo al aplicar

160 ppm de  $P_2O_5$  y 400 ppm de metasilicato de sodio y la máxima concentración para el  $Cu^{++}$  se obtuvo al aplicar 160 ppm de  $P_2O_5$  y 300 meq de  $CaCO_3$ .

En todos los tratamientos se puede observar que se relacionan con la materia seca ya que coinciden con las máximos valores de esta en gr.

En la lechuga (*Lactuca sativa*) del suelo 2 respondieron en forma más estable al aplicar los tratamientos por lo tanto se obtuvo una mayor concentración de los micronutrientes.

Se recomienda realizar investigaciones más a fondo con el fin de relacionar en forma más estrecha la disponibilidad y concentración de los micronutrientes en suelo y planta, ya que se carece de este tipo de estudios sobre todo en suelos de origen volcánico.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilera H.N (1969) Geographic distribution of volcanic ash soil in México, Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina Turrialba, Costa Rica A.61 - 12
- Atlas Nacional del Medio Físico (1981) Secretaría de Programación y Presuesteo
- Suol S.W, Hole F.D, Mc Cracken R.J (1981) Génesis y Clasificación de Suelos. Ed Trillas México 417 pags.
- Buckman y Brady (1977) Naturaleza y Propiedades de los Suelos, Ed Montaner y Simon S.A
- Black C.A, Evans D.O, White J.L (1965) Methods of Soil Analisis Agronomy 9 part 2 American Society of Agronomy Inc Publisher, Madison Wisconsin U.S.A
- Cheng K.L, Bray R.H (1953) Two specific methods of deterring cooper in soil and in plant material, Anal, Chem 25: 555 - 559.
- Dominguez R.V.I, (1975) Estudios Ecológicos del Volcán Popocatepetl Edo de México Tesis Profesional Facultad de Ciencias.
- García Rivas Mario J, (1964) Análisis de elementos menores de suelo de la Sierra de Arteaga Coahuila 110 pags.
- Fassbender H.W, (1982) Química de Suelos con Enfasis en Suelos de América Latina Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura San José Costa Rica, 398 pags.
- Hayama T.M.L y Aguilera H.N (1972) Mineralogía de Suelos del Volcán Xinantecatl Edo de México. II Panel sobre suelos volcánicos de América Latina Pasto Colombia.
- Maldal L.N and Haldar M, (1980) Influence of phosphorus and zinc aplicación the availability of zinc, cooper, iron, manganese and phosphorus in waterlogged rice soil November Vol 130 (5) Printed in USA.
- Mortvedet J.J, Giordano P.M, Lindsay W.L, (1972) Micronutrients in Agriculture Soil Society of American, Inc Madison, Wisconsin USA 666 pags.

- Mullerried F.K.G, (1948) Contribución a la Geología del Soconusco y Región Vecina del Sur de Chiapas Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, 56(3); 403 - 430.
- Mullerried F.K.G, Geología de Chiapas, Gobierno Constitucional del Estado de Chiapas 110 pags.
- Navarro C.J, (1976) Algunos Estudios de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas ó de Ando del Nevado de Toluca (regiones este y sur) Tesis Profesional Facultad de Ciencias UNAM 46 pags.
- Nelson J.I, Boarn L.C, Viets F.G, (1959) A method for assessing zinc status of soil using acid extractable zinc and tritrateable alkalinity values Soil Science 98; 275 - 283.
- Olson R.V, (1949) Iron Solubility in Soil as affected by pH and free iron oxide content Soil Science Society American Proceedings.
- Ortega S.E, (1971) Contenido de  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $Zn^{++}$  y  $Cu^{++}$  en algunos suelos de cenizas volcánicas del delta del Rio Grande 60 pags.
- Palencia J.A, Martini J.A, (1970) Características de algunos suelos de ceniza volcánica en Centro América Turrialba 20 (3) 325 - 332.
- Ramos H.S.G, (1979) Estudios Edafológicos de una zona cafetalera del Soconusco Estado de Chiapas, Tesis Profesional, Facultad de Ciencias UNAM 117 pags.
- Ramos H.S.G, (1982) Comportamiento de Fertilizantes Fosforados y el uso de enmiendas calcáreas y silicatadas en suelos fijadores de fósforo Tesis de Maestría Facultad de Ciencias UNAM 140 pags,
- Sánchez B.S, (1984) Determinación de Micronutrientes en Suelos y Muestras Foliare de Coffea arabica en Andosoles de la Zona Cafetalera de Hueytemalco, Estado de Puebla tesis Profesional de Maestría, Facultad de Ciencias UNAM, 162 pags.
- Santos A.T, Miranda J.C, (1984) Suelos de Ando y sus implicaciones en el desarrollo de la Sierra Tarasca Memorias del Seminario realizado del 2 - 4 de Agosto INIA y C.P

Sherman G.D, Mc Hargue J.S, Hodgking W.S, (1942) Determination of active manganese in Soil, Soil Science 54: 253 - 257.

Sutcliffe and Baker, (1979) Plants and mineral salts, Edwards Arnolds (publi shes), London England.

Taylor, S.R, (1964) Abundance of Chemical Elements in the Continental Crust; A new table geochim cosmochim acta 28: 1273 - 1286.

Tisdale S.L, Nelson W.L, (1982) Fertilidad de Suelos y Fertilizantes editorial UTEHA S.A.