

EXTRACCION BIOLOGICA Y QUIMICA DE MICROELEMENTOS EN  
SUELOS DE CULTIVO

Luis M<sup>a</sup> Romero Monreal

TESIS DOCTORALES DE LA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA **341**



~~Part 3-10~~

R.50.189

FCI/T 6.84

EXTRACCION BIOLOGICA Y QUIMICA DE MICRONUTRIENTES EN  
SUELOS DE CULTIVO

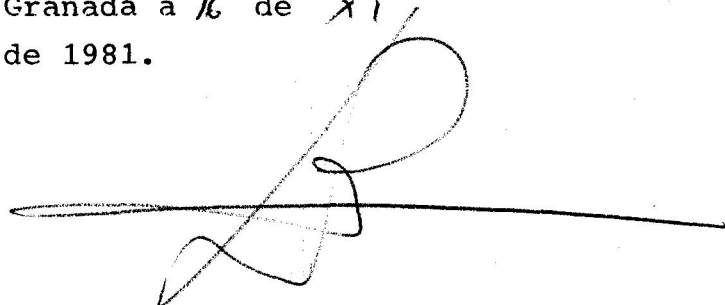
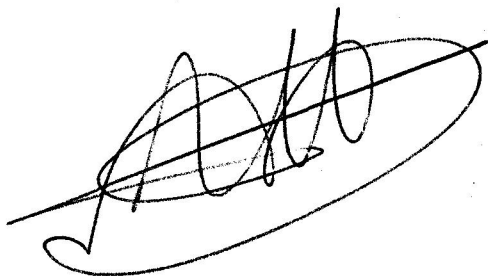
por

Luis María Romero Monreal

Visado en Granada  
a 16 de XI  
de 1981

Trabajo presentado para aspirar al Grado de DOCTOR en CIENCIAS, Sección de Biológicas.

Granada a 16 de XI  
de 1981.



Antonio Aguilar Villalvilla  
Doctor en Ciencias Químicas,  
Investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Luis María Romero Monreal  
Licenciado en Ciencias  
Sección de Biológicas.

613586129  
0156 04842



Tesis Doctoral, dirigida por el Dr. D. Antonio Aguilar Villalvilla, Investigador Científico del C.S.I.C. de "La Mayora", Algarrobo-Costa (Málaga). Actuó de Ponente el Prof. Dr. D. Luis Recalde Martínez, Catedrático del Departamento Interfacultativo de Fisiología Vegetal de la Universidad de Granada. Expuesta y defendida el 4 de Febrero de 1982, ante el Tribunal formado por los Profesores: Luis Recalde Martinez; Francisco Gonzalez García; Octavio Carpena Artés; Antonio Aguilar Villalvilla; Carmen Alvarez Tinaut. Octuvo la calificación de Sobresaliente "cum laude".

*A mis padres, cuyo amor por mí comprendí  
demasiado tarde.*

Mi sincero y profundo agradecimiento al Director de esta Tesis Doctoral, Dr. D. Antonio Aguilar Villalvilla, por su total dedicación y entrega que ha hecho posible la realización del presente trabajo. Así mismo, quiero resaltar la amistad profunda que ha nacido durante este largo tiempo de convivencia y que espero continuemos manteniéndola.

Estoy ligado al profesor Recalde desde mis tiempos, ya un poco lejanos, de estudiante.

Con Él empecé a interesarme por las cuestiones científicas, me abrió las puertas de la docencia y de Él aprendí muchas otras cosas que corresponden a la asignatura de la Vida.

Ahora, se ha brindado a presentar en esta Facultad, la Memoria de mi Tesis Doctoral.

Querer expresar mi reconocimiento por todo ello, con unas breves líneas, está fuera de medida, pero Él sabe que, efectivamente, le estoy muy agradecido.

Agradezco a todos mis compañeros de Departamento y en especial a la Dra. D<sup>ca</sup>. María del Carmen Alvarez Tinaut, toda la --ayuda que me han brindado de forma desinteresada.

El trabajo experimental de esta Tesis Doctoral se ha realizado en los laboratorios de la Unidad Estructural de Química Analítica Aplicada, de la Estación Experimental del Zaidín del - C.S.I.C. de Granada.

Es obligado destacar, pues, las facilidades concedidas al doctorando por la Comisión Científica y a la Junta de Instituto de la Estación. Vaya por delante mi agradecimiento a los componentes de ambos órganos rectores del Centro y en especial al Profesor de Investigación, Dr. Lachica Garrido, Director del mismo.

Debo destacar que he recibido un apoyo continuado, en todo momento, por parte de mis colegas de la Estación: Dr. Vañez, Dr. Linares, Dr. Huertas, Dr. Esteban, Dr. García-Chicano, Dr. Reyes, Sr. Rodríguez Robledo, etc. A todos ellos, muchas gracias. Y mi reconocimiento a mis queridos amigos, los doctores Girela y Barahona que gastaron mucho de su tiempo en la realización del programa de interpretación matemática que hemos aplicado.

El proceso de datos para la valoración estadística de los resultados obtenidos se llevó a cabo en el ordenador, amablemente cedido durante muchas horas, del Instituto de Astrofísica de Andalucía, C.S.I.C.

No sería justo silenciar la paciencia y buen sentido de interpretación que ha derrochado D<sup>a</sup> Mercedes Gómez-Moreno que se brindó amablemente a mecanografiar el, a veces no muy claro, manuscrito de esta Memoria.

*"El método científico consiste en observar y experimentar".*

*(H. Poincaré).*

INDICE	Página
OBJETO DEL TRABAJO -----	1
1. REVISION BIBLIOGRAFICA	
1.1. Extractantes químicos -----	9
1.1.1. Extractantes químicos del cobre ---	13
1.1.2. Extractantes químicos del hierro --	15
1.1.3. Extractantes químicos del manganeso	17
1.1.4. Extractantes químicos del cinc ----	19
1.1.5. Extractantes químicos del boro ----	21
1.1.6. Extractantes químicos comunes a varios microelementos -----	23
1.2. El cobre	
1.2.1. El cobre en el suelo -----	27
1.2.2. El cobre en la planta -----	29
1.2.3. Interacción del cobre con otros nutrientes -----	33
1.2.4. Síntomas visuales de su deficiencia	35
1.2.5. Plantas indicadoras de la deficiencia del cobre -----	37
1.3. El hierro	
1.3.1. El hierro en el suelo -----	41
1.3.2. El hierro en la planta -----	45
1.3.3. Interacción del hierro con otros nutrientes -----	51
1.3.4. Síntomas visuales de su deficiencia	57
1.3.5. Plantas indicadoras de la deficiencia del hierro -----	59



1.4. El manganeso	
1.4.1. El manganeso en el suelo -----	63
1.4.2. El manganeso en la planta -----	65
1.4.3. Interacción del manganeso con otros nutrientes -----	69
1.4.4. Síntomas visuales de su deficiencia-	75
1.4.5. Plantas indicadoras de la deficiencia del manganeso -----	79
1.5. El cinc	
1.5.1. El cinc en el suelo -----	83
1.5.2. El cinc en la planta -----	85
1.5.3. Interacción del cinc con otros nutrientes -----	89
1.5.4. Síntomas visuales de su deficiencia-	93
1.5.5. Plantas indicadoras de la deficiencia del cinc -----	95
1.6. El boro	
1.6.1. El boro en el suelo -----	99
1.6.2. El boro en la planta -----	101
1.6.3. Interacción del boro con otros nutrientes -----	107
1.6.4. Síntomas visuales de su deficiencia-	111
1.6.5. Plantas indicadoras de la deficiencia de boro -----	115

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1. Análisis de los suelos

2.1.1. Características de los suelos utilizados -----	121
--	-----

	Página
2.2. Extracción química	
2.2.1. Extractantes utilizados -----	131
2.2.2. Técnica operatoria de la extracción-	135
2.2.3. Análisis químico de los extractos --	137
2.3. Extracción biológica	
2.3.1. Experimentos en el invernadero -----	141
2.3.2. Recolección de las plantas -----	146
2.3.3. Análisis químico de las plantas ----	167
3. RESULTADOS Y DISCUSION	
3.1. Extracción química -----	173
3.2. Extracción biológica -----	197
3.3. Análisis estadístico de los resultados ---	225
4. CONCLUSIONES -----	271
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS-----	275

OBJETO DEL TRABAJO

El contenido de micronutrientes en los suelos de cultivo puede apreciarse, de forma cuantitativa, bajo dos formas indicativas: El contenido total y la fracción de éste que se encuentra en forma asimilable por las plantas.

La planta absorbe los elementos que necesita para su crecimiento y desarrollo de la solución del suelo. Normalmente, estos nutrientes, principalmente los microelementos o elementos traza, se encuentran en dicha solución en concentraciones muy bajas, debido, generalmente, a la insolubilidad de los minerales de donde proceden.

El concepto de que sólo una parte de la cantidad total de nutrientes que contiene un suelo está en forma disponible para las plantas, fue establecido por DAUBENY en 1845.

El método clásico de valorar cuantitativamente la cantidad de un elemento disponible en un suelo de cul-

tivo fue la utilización de extractantes químicos. Este procedimiento está basado en que el agente químico utilizado extrae, generalmente, aquellos nutrientes susceptibles de solubilizarse mediante reacciones rápidas. Es obvio que el mecanismo por el que la raíz extrae del suelo la fracción de nutrientes asimilables es más lento y de hecho, sólo en algunos casos, la acción del agente químico podrá compararse con la acción de la raíz, más lenta pero más completa.

BECKWITH en 1963 indicó que los procedimientos de extracción química no suministran el valor exacto, aunque sí orientativo, de la fracción asimilable que está disponible en el suelo. En definitiva, señala, es el análisis de la planta el que nos proporcionará el valor más ajustado a la realidad. Habrá que tener en cuenta, de todas formas, una serie de factores ligados a la planta, como la variabilidad de las especies, su densidad de siembra, el estado de crecimiento de las plantas en el momento de analizarlas, etc. De otra parte, existen también otros factores relativos al suelo, como el pH, la estructura, el contenido en materia orgánica, etc. Todos estos factores, combinados o no, intervienen positiva o negativamente en la liberación de los distintos microelementos.

En estas condiciones, se comprende la dificultad de decidir un método rápido y suficientemente preciso

para evaluar el potencial de un suelo de cultivo en relación a su contenido en los distintos microelementos que se encuentran en él en forma directamente asimilable por las plantas.

La extracción química y el posterior análisis de los extractos es, indudablemente, el procedimiento más sencillo y rápido. Se ha propuesto, a lo largo del tiempo, una gran cantidad de extractantes químicos por numerosos investigadores. Pero no existe, hasta ahora, debido a los numerosos factores antes enumerados, un extractante universal que pueda ser aplicado con la misma eficacia a los diferentes tipos de suelo de cultivo existentes y para los diferentes microelementos más importantes desde el punto de vista agrícola.

Para intentar esclarecer, en la medida de lo posible, esta situación, nosotros hemos montado una serie de experimentos consistentes en analizar químicamente los extractos obtenidos de la aplicación de 10 extractantes diferentes a 12 suelos de la provincia de Granada, muy diferentes entre sí y representativos de los suelos de cultivo utilizados para su aprovechamiento agrícola.

Independientemente, hemos cultivado bajo condiciones de invernadero, sobre los mismos suelos, en experimentos con macetas, diversas plantas indicadoras que -



posteriormente fueron analizadas.

Los resultados analíticos obtenidos a partir de los análisis de los extractos, por una parte y del -- análisis de las plantas, por otra, siempre referidos a los cinco microelementos más importantes desde el - punto de vista agrícola, se compararon matemáticamente. Las conclusiones obtenidas de dicha comparación - nos van a permitir elegir, en cada caso, el extractante idóneo.

1. REVISION BIBLIOGRAFICA





1.1. Extractantes Químicos



La impresión que se obtiene a partir de la revisión bibliográfica realizada, en relación con este epígrafe, es que, trabajos sobre el tema, realizados por investigadores de todo el mundo, es tal, que no es posible deducir conclusiones definitivas sobre el agente extractante ideal, es decir, eficaz en cualquier tipo de suelo y aplicable a todos los microelementos importantes para la vida de las plantas.

Hemos examinado más de 1200 trabajos en los que se aprecia la diversidad de la metodología utilizada por sus autores y de dichas publicaciones, cerca de 500 se refieren a destacar determinados agentes extractantes.

Citar a todos o una buena parte de ellos, convertiría este capítulo en una farragosa relación de nombres y fechas, de relativa utilidad. Hemos adoptado el criterio de considerar individualmente la extrac--

ción de cada uno de los cinco microelementos que estudiamos, citando aquellos trabajos que, por alguna razón son más representativos. Finalmente, nos referimos a aquéllos otros que consideran la extracción de varios microelementos a la vez.

### 1.1.1. Extractantes químicos del cobre

La relación de extractantes utilizados para valorar el cobre asimilable por las plantas, en las cuatro últimas décadas, es abrumadora: ClH (1N, 0,1N, 0,05N, 10%), NO<sub>3</sub>H (1N, 0,5N, 0,43N, 2%, 3%), ácido fosfórico (2,5%, 2,3%), ácido cítrico (1%, 2%), Cl<sub>2</sub>Ca 1N, ClK 1N, solución Morgan, oxalato amónico 0,2M, sulfocianuro - amónico 3M, acetato amónico 1N, acetato potásico, ClO<sub>4</sub>H más SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>, ClH 0,5N más Cl<sub>3</sub>Al 0,05N, EDTA empleado por primera vez por CHENG y BRAY (1953), (0,02N, 0,05M, - 1%, 0,1%), EDTA-Na<sub>2</sub> (0,1M, 0,02M), EDTA-NH<sub>4</sub>, EDTA más citrato amónico, EDTA más carbonato amónico, EDTA más ClNH<sub>4</sub>, DTPA más bicarbonato amónico. Se recomienda también el agua como extractante del cobre (GUPTA y MACKAY, 1965).

Es abundante asimismo la serie de observaciones - ligadas al empleo de tan dilatada lista de extractantes. Algunos autores relacionan sus resultados con diferentes parámetros analíticos de los suelos que utilizan. Según KRAEHMER y WITTER (1974) no puede utilizarse el NO<sub>3</sub>H 0,43N en suelos ricos en carbonatos aunque en este tipo de suelos se obtienen buenos resultados -

con una mezcla de oxalato amónico 0,137M y ácido oxálico 0,55M (THOMAS y SCHILLING,1972). ZIETECKA (1975) utilizando ClH 1N, NO<sub>3</sub>H 2% y EDTA 0,02M, encuentra buena correlación entre el cobre disponible en los suelos y la materia orgánica de éstos. BALASUNDARAM y col. (1973) obtienen correlaciones negativas entre los valores de cobre y el pH, capacidad de cambio y carbonatos de sus suelos. SINGH y SINGH (1976) coinciden con esto último pues encuentran una correlación positiva entre el cobre y la materia orgánica de los suelos y correlación negativa con el pH y carbonatos. SCHLICHTING (1973) obtiene los mejores resultados utilizando el ClH 1N y el NO<sub>3</sub>H 1N frente a la del acetato amónico 1N. NEELAKANTAN y MEHTA (1961), confirman lo anterior y MATHUR y col. -- (1979), utilizando EDTA 0,1M encuentran correlación positiva entre el cobre asimilable y la cosecha. Por otra parte, DWIVEDI y SHANKER (1977), establecen el siguiente orden, en relación a la cantidad de cobre extraída: acetato amónico mejor que EDTA 0,02M, mejor que ClH 1N.

Esta diversidad de observaciones, de las que anotamos unas pocas como ejemplo, revela hasta qué punto van a depender los resultados obtenidos, del tipo de suelos sobre los que se aplican los diversos extractantes preconizados por los numerosos autores consultados.

### 1.1.2. Extractantes químicos del hierro

No es tan extensa, como en el caso del cobre, la bibliografía recogida sobre extractantes de hierro asimilable. No están muy claras las observaciones referentes a este elemento en los diversos trabajos consultados. Sucesivamente, los distintos autores escriben sobre hierro libre, activo, móvil, cambiabile, extraíble, lábil, soluble, amorfo, cristalino, cristalizado, inorgánico, ligado a fases orgánicas, etc., con muy pocas referencias al término "available" que encontramos en la bibliografía (en su mayor parte escrita en el idioma inglés) de los restantes elementos aunque algunos de estos términos puedan coincidir con la acepción de "asimilable". No parece, pues, estar absolutamente dilucidado el concepto de la fracción del hierro total presente en el suelo que puede ser aprovechado directamente por las plantas.

En ninguna de las referencias consultadas se hace mención de experimentos en los que se utilicen plantas para contrastar la acción de los extractantes empleados como ha sido el caso en los otros cuatro microelementos estudiados.



Aparecen en la bibliografía, como agentes extractantes de alguna de las formas de hierro, relacionadas anteriormente, los siguientes:  $\text{SO}_4\text{H}_2$  (KELLERMAN y TSURUPA, 1967),  $\text{ClH}$  0,1N, ácido sulfosalicílico, acetato amónico 1N (pH 7,0, 4,8, 3,0), oxalato amónico (1N, 0,2M) (YUAND y BRELAND, 1969), solución Morgan (KHAN y CORNFIELD, 1968). También se recomiendan diversos agentes quelantes como EDTA 0,01M, EDTA- $\text{NH}_4$  0,05M, EDTA más acetato amónico, DTPA (De BOER y REISENAUER, 1973), EDDHA (JOHNSON y YOUNG, 1973). MISRA y col. (1974), establecen el siguiente orden de preferencia: acetato amónico 1N (pH 3,0), mejor que acetato amónico 1N (pH 7,0), mejor que  $\text{ClH}$  0,1N, mejor que EDTA 0,02M, mejor que acetato amónico 1N (pH 4,8).

### 1.1.3. Extractantes químicos del manganeso

Nuevamente aparece en la bibliografía, una larga serie de extractantes químicos que se vienen utilizando a lo largo del tiempo para la extracción del manganeso -- que, según los diversos autores, se llama activo, fácilmente asimilable, lábil, cambiante, soluble en agua o -- más concretamente asimilable por las plantas. Como en casos anteriores, incluso empleando el mismo extractante, los distintos autores varían entre sí en la metodología empleada en lo referente al tiempo de extracción y a la relación suelo/extractante.

Los extractantes más frecuentemente citados son estos: ClH (10N, 1N, 0,1N, 0,002N, al 20%), SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> (conc. y 0,1N), NO<sub>3</sub>H (0,1N), PO<sub>4</sub>H<sub>3</sub> (1N, 0,1N), ácido acético (0,1N, 0,5N, al 2,5%), SO<sub>4</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 1N, (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Mg (1M y 1N), (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca (1M y 1N), SO<sub>4</sub>Mg más SO<sub>3</sub>Na<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>Ca (0,01M, 0,02M, 0,005M, 0,0025M), ClK 1N, PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>NH<sub>4</sub> (1M, 1,5M, 3M), CO<sub>3</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> - (1M, 0,1M), acetato amónico (1N a varios pH, 3N), acetato sódico 1N, hidroquinona al 0,2%, acetato amónico más hidroquinona, acetato amónico más EDTA, agua (PAGE y col., 1962), solución Morgan, EDTA-Na<sub>2</sub> (0,5M, 0,05M, 0,01M) (HAMMES y BERGER, 1960), EDDHA-Na<sub>3</sub> (ELGALA y

ELBAGOURI, 1972), DTPA 0,005M (SHUMAN y ANDERSON, --- 1974), etc.

Muy recientemente, se siguen proponiendo extractantes que se adaptan a distintos tipos de suelo y SALCEDO y col. (1979) establecen el siguiente orden de -- eficacia:  $\text{PO}_4\text{H}_3$  0,1N mejor que  $\text{PO}_4\text{H}_2\text{NH}_4$  1,5M, mejor que  $\text{ClH}$  0,1N, mejor que acetato amónico 1N, mejor que DTPA - 0,005M. Y LEA y col. (1980) proponen dos nuevas mezclas de extractantes:  $\text{ClH}$  0,05N más  $\text{SO}_4\text{H}_2$  0,025N o bien  $\text{ClNH}_4$  0,2N más ácido acético 0,2N más  $\text{FNH}_4$  0,015N más  $\text{ClH}$  --- 0,012N.

En el casi centenar de referencias consultadas sobre este elemento, aparecen 21 plantas distintas cuyo contenido en manganeso ha servido a los distintos autores para contrastar la acción de los diversos extractantes utilizados.

#### 1.1.4. Extractantes químicos del cinc

Cerca de 100 referencias, entre 1958 y 1980 han sido consultadas en relación a la extracción de este elemento y su posterior determinación analítica, en los más diversos tipos de suelo, de todo el mundo. La relación de extractantes utilizados por los distintos autores es muy abundante:

ClH (1N, 0,5N, 0,1N, 0,05N, 0,01N), SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> (0,1N, 0,05N), NO<sub>3</sub>H (0,1N), ClH 1N más NO<sub>3</sub>H 1N, ClH 0,05N más - SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> 0,025N, ácido acético (2,5%), ClK (1N, 0,05N), Cl<sub>2</sub>Mg (2N, 0,5N, 0,1N), Cl<sub>2</sub>Ca (0,1M, 0,01M), Cl<sub>2</sub>Cd 0,1M, agua solución Morgan, trietanolamina, SO<sub>4</sub>Mg (0,2M), NO<sub>3</sub>NH<sub>4</sub>, - NO<sub>3</sub>K (1N), CO<sub>3</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (1M), PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>NH<sub>4</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>Na<sub>4</sub> (1M, 0,02M), - acetato amónico 1N (pH 7,0, 4,8, 4,6, 4,5), acetato sódico (1N, 0,1N), acetato bórico 1N, acetato cálcico 1N, acetato de cobre 0,1N, ditizona, acetato amónico más ditizona, acetato amónico más ácido acético, lactato amónico más ácido láctico, benceno más n-tributil-fosfato, etc.

Aparecen también numerosos trabajos, correspondien

tes a los últimos veinte años, en los que se da cuenta de haber utilizado diversos agentes quelantes como extractantes del cinc. Citemos como ejemplo a RAVIKOVITCH y col. (1968) en relación al EDDHA, TRIERWEILLER y LINDSAY (1969) en cuanto al EDTA y a BROWN y col. 1970) al DTPA. Estos agentes quelantes son citados, repetidamente, solos o en combinación con otros agentes químicos: EDTA (0,01M, 0,02M, 0,05M, 0,2%), EDTA-Na<sub>2</sub> 1% más ---- CO<sub>3</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 1M, EDTA más ditizona, EDTA más acetato amónico, EDTA más Cl<sub>2</sub>Ca, DTPA 0,005M, DTPA más Cl<sub>2</sub>Ca más acetato amónico, DTPA más Cl<sub>2</sub>Ca más trietanolamina, etc.

Habría que destacar en este capítulo que la utilización del ClH 0,1N como extractante del cinc, en todo tipo de suelos, aparece como la más citada, 30 veces, en la bibliografía correspondiente a este elemento.

### 1.1.5. Extractantes químicos del boro

El trabajo clásico de BERGER y TRUOG (1944) en el que se describe la extracción del boro asimilable en suelos, con agua hirviendo a reflujo, se mantiene a través del tiempo como el método de extracción, para este elemento, más utilizado. Aparecen en la bibliografía algunas modificaciones al mismo y recientemente (ODOM, 1980) se ha publicado una precisa actualización del método. Se proponen también, a lo largo del tiempo, otros agentes extractantes: ácido acético (BAKER, 1971),  $\text{Cl}_2\text{Ca}$ ,  $\text{ClH}$  a diversas concentraciones,  $\text{SO}_4\text{H}_2$  concentrado y diluido, acetato amónico 1N (GUPTA y STEWART, 1975 y 1978), rodamina, etc.

WOLF (1971), al dar cuenta de la aplicación de un nuevo reactivo, la azometina-H, que soluciona la mayor parte de los problemas analíticos ligados a la posterior determinación del boro, utiliza la solución Morgan como agente extractante y en un trabajo reciente, se demuestra la eficacia de este último extractante, frente a otros, incluida el agua hirviendo (AGUILAR-ROS y AGUILAR, 1977).



#### 1.1.6. Extractantes químicos comunes a varios microelementos

Los extractantes propuestos para la determinación de dos, tres o más microelementos a la vez, forman una larga lista y como podía esperarse, coinciden en su mayor parte con los que hemos citado, en esta revisión bibliográfica, al tratar cada uno de los microelementos de forma individual. Señalamos, sólomente, aquéllos más frecuentemente citados por los distintos autores y que aparecen una y otra vez en los 150 artículos que hemos revisado en relación a este punto. Son los siguientes: Acetato amónico 1N, pH (7,0), ClH 0,1N, ácido acético 2,5%, resinas de cambio catiónico (ACQUAYE y col. 1972).

Aplicados desde hace más de 20 años, es en la última década cuando se prepone, mayoritariamente, la utilización de agentes quelantes, empleados aisladamente o en combinación con otros agentes químicos: EDTA, CDTA (HILL-COTTINGHAM y LLOYD-JONES, 1958), DTPA (LINDSAY y NORVELL, 1969), EDDHA (HAQ y MILLER, 1972), DTPA más trietanolamina más  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  (LINDSAY y NORVELL, 1978), DTPA más bicarbonato amónico (SOLTANPOUR y SCHWAB, 1977),



EDTA, DTPA y EDDHA a varias concentraciones (HO y GAMMON, 1976), CDTA, EDTA y DTPA (GRASSI y col. 1980), etc.

La última cita recogida por nosotros corresponde a IYENGAR y col. (1981a) que preconiza una mezcla de pirro lidin amónico más ditiocarbamato más metil-isobutilcetona (APDC-MIBK).

Como dejábamos señalado antes, la complejidad del problema es tal que explica la abundantísima bibliografía que existe sobre el particular. No es extraño que la F.A.O. haya decidido colaborar en aclarar este aspecto del análisis de suelos y en ese sentido ha propuesto hace unos 3 años, a través de un programa de investigación y por medio de una encuesta a nivel europeo, un agente extractante que nosotros hemos utilizado en nuestro trabajo: Acetato amónico 0,5N más ácido acético 0,5N más EDTA 0,02M (LAKANEN y ERVIO, 1971). No han sido publicados, en el momento de redactar esta Memoria, los resultados de dicha encuesta.

## 1.2. El Cobre



### 1.2.1. El cobre en el suelo

El cobre está presente en los suelos de cultivo casi exclusivamente en la forma  $\text{Cu}^{++}$ . El mineral de cobre -- más abundante es la calcopirita ( $\text{S}_2\text{CuFe}$ ) y también forma parte el cobre en carbonatos y silicatos. Los minerales carbonatados e hidroxycarbonatados de cobre son demasiado solubles y por consiguiente no son estables en los suelos (LINDSAY, 1978a).

El cobre está, además, formando parte de complejos orgánicos (HODGSON y col., 1965 y 1966; GEERING y col., - 1969) cuya naturaleza química no ha sido, aún, bien establecida.

El nivel de cobre en la solución del suelo depende del pH. Desciende al incrementarse éste (LINDSAY, 1972a) ya que el pH hace aumentar la estabilidad de los complejos de cobre formados, que se destruyen, dando el correspondiente hidróxido al seguir incrementando el pH (SCHNITZER y SKINNER, 1963).

El cobre se liga fuertemente a las partículas del suelo de forma intercambiable y en esta forma no es fácilmente asimilable por las plantas (LINDSAY, 1978b).

Sin embargo, los complejos orgánicos de cobre son muy solubles y ésto explicaría la ausencia de deficiencia de cobre en aquellas plantas que crecen en suelos calcáreos (HODGSON y col., 1966).

### 1.2.2. El cobre en la planta

La esencialidad del cobre en las plantas superiores, se demostró tempranamente (SOMMER, 1931; ARNON y STOUT, 1939). Los requerimientos de cobre por las plantas son muy bajos (MITCHELL y BURRIDGE, 1979).

El cobre tiene poca movilidad en las plantas deficientes y por ello, los síntomas de deficiencia en este elemento se desarrollan primeramente en las hojas jóvenes (BUKOVAC y WITWER, 1957; LONERAGAN y col., -- 1980). El movimiento del cobre desde las hojas viejas, es paralelo al movimiento del nitrógeno, quizás la hidrólisis de las proteínas sea un requisito previo para la liberación del cobre y su incorporación al floema - (WOOD y WOMERSLEY, 1946; GRAVES, 1978).

Es uno de los contribuyentes de la plastocianina que es una proteína que participa en el transporte de electrones entre el fotosistema I y el fotosistema II (KATOH y col., 1961; KATOH y TAKAMIYA, 1963; BOARDMAN, 1975). La deficiencia de cobre disminuye la actividad fotosintética y da lugar a una deformación de la estructura del cloroplasto (VESK y col., 1966; BOTTRILL y col., 1970; NATR, 1972).

Forma parte de algunas enzimas: Acido ascórbico-oxidasa, citocromo-oxidasa, polifenol-oxidasa, etc. (GUNSALUS y col., 1975). Se ha encontrado, junto con el cinc, en la superóxido-dismutasa que está presente en todos -- los organismos aerobios (McCORD y col., 1971; FRIDOVICH, 1975; NICHOLAS, 1975; MUTLU, 1977). La desnaturalización e hidroxilación de los ácidos grasos se cataliza por medio de enzimas que contienen cobre (WAHLE y DAVIES, 1977).

El proceso de oxidación de las proteínas requiere -- cobre (MALKIN y col., 1969). La síntesis de proteínas se altera en plantas deficientes en cobre, formándose, en -- esta situación, complejos solubles amino-N (POSSINGHAM, 1956; NICHOLAS, 1975). En órganos jóvenes, se han encontrado niveles bajos de DNA cuando falta cobre (OZOLINA y LAPINA, 1965; MUTLU, 1977).

La deficiencia de cobre afecta también al metabolismo de los hidratos de carbono; se reducen los niveles de azúcares reductores y aparece una acumulación de ácidos orgánicos y asparraguina (BROWN y col., 1958).

También se requiere cobre en la fijación simbiótica del  $N_2$  y está descrita una reducción de la nodulación cuando es bajo el nivel de cobre, en plantas de trébol subterráneo, aunque aún no está suficientemente aclarado este proceso (HALLSWORTH y col., 1960; NICHOLAS, 1975;

MUTLU, 1977). Esta reducción de la nodulación puede deberse, también, a que la deficiencia de cobre disminuye la actividad de la citocromo-oxidasa en los nódulos que, a su vez, da lugar a un incremento de la tensión de oxígeno en las células dificultando la fijación del  $N_2$  -- (CARTWRIGHT y HALLSWORTH, 1970; RAINS, 1976; MUTLU, 1977).





### 1.2.3. Interacción del Cu con otros nutrientes

#### Cu-macroelementos

Existe sinergismo, dentro de la planta, entre el cobre y el nitrógeno (KOTER y BARDZICKA, 1972; CUMAKOV y BABEK, 1973; MAZEPIN y ABRAMOV, 1975) y también se ha descrito la interacción, en sentido positivo, entre el cobre y el fósforo (KOTER y BARDZICKA, 1972; MAZEPIN y ABRAMOV, 1975; RANDHAWA y col., 1979) aunque otros autores (MURAVIN y SHURAVLEVA, 1970; RANDHAWA y col., 1979) han encontrado que la relación Cu-P es antagónica. Nuevamente, las diferencias encontradas por los diversos autores se deben, principalmente, a la variedad de especies vegetales que utilizan en sus respectivos experimentos. Las relaciones entre el cobre y el potasio (KOTER y BARDZICKA, 1972; KARKI y col., 1974; MAZEPIN y ABRAMOV, 1975) así como con el azufre (WALLACE y col., 1974) se han descrito como sinérgicas.

Por el contrario, la interacción del cobre con los dos cationes, calcio y magnesio, es, según HARA y col. (1976), de tipo antagónico.

### Cu-micronutrientes

Entre el cobre y el hierro existe un sinergismo - (HARA y col., 1976) aunque se ha establecido que, cuando existe un exceso de cobre, este catión desplaza al hierro de los centros activos y aún con exceso de hierro en el medio, pueden aparecer síntomas de clorosis férrica (DANIELS y col., 1972).

Por lo que respecta al cinc, hemos encontrado referencias controvertidas pues para algunos autores (BERZINYA y ZHIZNEVSKAYA, 1973; MAZEPIN y ABRAMOV, 1975; - PALAVEEV y col., 1975) actúan ambos micronutrientes si nérgicamente y para otros (GUPTA, 1972c; WATERS, 1973; PALAVEEV y col., 1975; HARA y col., 1976) actúan antagónicamente.

#### 1.2.4. Síntomas visuales de su deficiencia

Se han descrito los síntomas visuales característicos de la deficiencia de cobre, principalmente en cereales (trigo, cebada, avena, maíz) y algunos frutales (manzano, peral). Un detallado catálogo de síntomas de dicha deficiencia, correspondientes a varias especies vegetales aparecen en dos monografías (REUTHER y LABANAUSKAS, 1966; CALDWELL, 1971).

Un síntoma típico de la deficiencia en cereales es el aspecto de matorral que presentan las plantas, ya que se detiene su crecimiento y se desarrollan numerosas yemas laterales y un excesivo número de tallos (WALLACE, 1961; SMITH, 1972, 1973, 1974; ISHIZUKA, 1978).

En el maíz, por ejemplo, se acortan los entrenudos, las puntas de las hojas jóvenes amarillean y mueren (STILES, 1946; TAKKAR y RANDHAWA, 1978) y en el trigo las puntas se vuelven blancas, se retuercen y así mismo se necrosan, no se forma panículo y el número de granos, si llega a formarse la espiga, se reduce de forma drástica (STILES, 1946; SCHARRER y SCHAUMLÖFFEL, 1960). En la --avena y cebada las hojas jóvenes aparecen de color verde-azulado, pardean y finalmente mueren (LIPMAN y MCKINNEY, 1931; WAPAKALA, 1972).

En cuanto a los frutales (manzano y peral), las -  
puntas de las hojas jóvenes se deforman, oscurecen y -  
se caen. Esta defoliación precede a la necrosis de --  
los brotes. Por otra parte, la corteza de los árboles  
llega a separarse de la madera y los frutos que se pue-  
den formar son de tamaño insignificante (WALLACE, 1961).

#### 1.2.5. Plantas indicadoras de la deficiencia del cobre

Han sido utilizadas diversas especies vegetales en numerosos experimentos tendentes a establecer alguna relación entre la cantidad de un determinado nutriente -- presente en un suelo de cultivo y algún parámetro relativo a la planta, como puede ser la cosecha o su desarrollo vegetativo. Cuando, con alguna planta, es posible encontrar aquella relación, dicha planta puede considerarse como indicadora del nutriente en cuestión (LONERAGAN, 1977).

En relación con el cobre, aparecen citadas diversas especies vegetales que, de alguna forma, cumplen el anterior requisito: espinaca (VESK y col., 1966), patata (BACHTHALER y STRITESKY, 1973), guisante (BLASCHKE, 1977), pepino (BLASCHKE, 1977), tomate (TAKKAR y RANDHAWA, 1978) judía (WALLACE y ROMNEY, 1977), etc.

De cualquier forma, se considera a los cereales como las mejores plantas indicadoras para el cobre: el maíz (BACHTHALER y STRITESKY, 1973; DRAGUN y col., 1976; BHATTI y SARWAR, 1977; MANN y col., 1978; TAKKAR y RANDHAWA, 1978); avena (WALLACE, 1961; BACHTHALER y STRITESKY, 1973; HODENBERG y MacDANIEL, 1975; BROWN y MCDANIEL

1978b), trigo (WALLACE, 1961; BROWN, 1965; WALLACE y MUELLER, 1973; LONERAGAN y col., 1976; BROWN y CLARK, 1977; MANN y col., 1978; YLARANTA y col., 1979; LONERAGAN y col., 1980) y principalmente la cebada (STEENBJERG, 1951; BROWN, 1965; GUPTA y MacLEOD, 1970; BACHTHALER y STRITESKY, 1973; BLASCHKE, 1977; VELTRUP, 1977; BECKETT y DAVIS, 1978; DAVIS y BECKETT, 1978; TAKKAR y RANDHAWA, 1978; WESCH y col., 1978; MITCHELL y BURRIGDE, 1979; -- VELTRUP, 1979).

### 1.3. El Hierro





### 1.3.1. El hierro en el suelo

El hierro constituye, aproximadamente, el 5% de la corteza terrestre. Debido a su enorme capacidad para -- formar complejos estables con el azufre, el oxígeno y - la sílice, también estos últimos muy abundantes, se encuentra prácticamente en todo tipo de suelos.

El contenido de hierro en un suelo refleja la composición de la roca de donde procede. Aunque ésto no - es rigurosamente cierto, puesto que suelos rojos y pardos en climas cálidos se han formado a partir de rocas pobres en hierro, sí puede afirmarse que un suelo con - un alto contenido en hierro indica que procede de una - roca rica en hierro.

La cantidad de hierro soluble en los suelos es muy baja en relación al hierro total y, entre otras causas, dependen del pH del suelo (NORVELL y LINDSAY, 1978). El contenido mínimo se alcanza, según LINDSAY (1972a) en - el rango de 6,3 a 8,0. Los suelos ácidos por tanto, tienen más hierro inorgánico soluble que los suelos calcáreos.

En la profundidad de la corteza terrestre, las conun

diciones extremadamente reductoras que allí existen, con dicionan la presencia del metal en estado libre y forman do silicatos y sulfuros ferrosos. Al ascender hacia la - superficie y hacerse menos drásticas las condiciones reductoras, van apareciendo formas de hierro oxidadas y en contramos silicatos y óxidos ferroso-férricos. En las zo nas donde la atmósfera puede penetrar empiezan a dominar las formas férricas. En estas partes oxidadas del suelo, la forma principal en que se encuentra el hierro es como óxido férrico. El óxido está generalmente hidratado aunque en suelos muy antiguos la hematita suele ser el mine ral más abundante. Existen además otros minerales primarios, como la magnetita que se degrada más difícilmente que los silicatos de hierro. Otros minerales, como sulfa tos y fosfatos, son también constituyentes de los suelos (SCHWERTMANN, 1977).

En la solución del suelo, que contenga oxígeno, el hierro está principalmente como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , estabilizado parcialmente por su materia orgánica y su absorción por -- las arcillas (NIJENSOHN, 1973).

También está presente el hierro en el suelo, en for ma de complejos orgánicos. El hierro une con ligandos or gánicos, polifenoles, ácidos alifáticos simples, ácidos fúlvicos y húmicos, etc. En presencia de abundante materia orgánica, una gran cantidad de hierro puede estar -- presente en forma reducida (OADES, 1963).

WEBLEY y DUFF (1965) demostraron que el ácido alfa-cetoglucónico excretado de la rizosfera solubiliza el --hierro, que queda así a disposición de la planta.

En la formación de los complejos orgánicos también intervienen los exudados de la raíz. VENKAT RAJU y MARSCHNER (1972) establecieron el desprendimiento de riboflavina por raíces de girasol que crecían en soluciones de cultivo en condiciones extremas de hierro. El desprendimiento iba acompañado por un descenso del pH de la solución y la posterior reducción de la riboflavina liberaba  $Fe^{++}$  que quedaba disponible para las plantas.



### 1.3.2. El hierro en las plantas

Las plantas verdes requieren un suministro continuo de hierro durante el crecimiento ya que este elemento no se traslada desde las partes viejas a las nuevas --- (BROWN, 1961). La absorción del hierro depende de la capacidad de las raíces para reducir el  $Fe^{+++}$  a  $Fe^{++}$ . A través de ensayos con soja (AMBLER y col., 1971; BROWN, 1972) y tomate (BROWN y AMBLER, 1974) se apreció que las raíces laterales son los principales lugares para la reducción. La reducción del  $Fe^{+++}$  en el plasmolema externo se favorece por la acción de electrones que provienen de la célula, vía citocromo o compuestos flavínicos (CHANEY y col., 1972).

La absorción del hierro del medio de cultivo se dificulta con un pH alto de éste (MARSCHNER y col., 1974) así como con concentraciones elevadas de calcio y fosfatos (BROWN y col., 1977; BROWN y McDANIEL, 1978a). Con un pH alto y buenas condiciones de aireación se favorece la oxidación de  $Fe^{++}$  a  $Fe^{+++}$ , resultando de aquí una precipitación de sales férricas (JACOBSON y OERTLI, 1956). La precipitación de los fosfatos de hierro tiene lugar, tanto en el medio de cultivo (SIDERIS y YOUNG, 1956; ZHIZNEVSKAYA, 1973) como en los tejidos conducto-



res (REDISKE y BIDDULPH, 1953; ZHIZNEVSKAYA, 1973). Una elevada concentración de calcio en la solución del suelo o dentro de la planta influye negativamente en los procesos fisiológicos en que interviene el hierro activo (BURSTRÖM, 1968).

La facilidad que tiene el hierro para formar complejos quelatos caracteriza muchos de los efectos fisiológicos ligados a este elemento. Parece ser que el ión citrato es el transportador natural del hierro (ROGERS y SHIVE, 1932; ILJIN, 1951 y 1952; DE KOCK y MORRISON, 1958; BROWN y TIFFIN, 1965; TIFFIN, 1966a, - 1966b y 1970; BROWN y CHANEY, 1971; TIFFIN, 1972; --- CLARK y col., 1973) en las hojas de la planta.

La función del hierro mejor conocida, dentro de la planta, es su intervención en procesos enzimáticos. En los citocromos, el hierro se reduce y oxida de forma reversible mediante el cambio de un simple electrón y las diferencias funcionales entre los diversos citocromos se deben a sus diferentes y respectivos potenciales de oxidación-reducción (NASON y McELROY, 1963; NEILANDS, 1974; NICHOLAS, 1975). La presencia del citocromo a en los tejidos vegetales fue descubierta por KEILIN en 1925. Los citocromos (CHANCE y col., 1968) son enzimas en cuya composición figura un grupo porfirínico que contiene hierro férrico e interviene en el trans-

porte de electrones. La citocromo-oxidasa actúa en la etapa final de la cadena respiratoria, (BHAGUAT y HILL, 1951; ZHIZNEVSKAYA, 1973; NICHOLAS, 1975; MENGEL y KIRBY, 1979).

Otras enzimas, catalasa y peroxidasa, actúan como protectoras frente a los efectos nocivos de la acumulación de peróxido de hidrógeno (CHANCE, 1952). Las diferentes hemoproteínas resultan afectadas, en distinto grado, por la deficiencia de hierro. Mientras la catalasa y el citocromo c experimentan una considerable pérdida de actividad (BROWN y HENDRICKS, 1952; HEALY y col., 1955; WEINSTEIN y ROBBINS, 1955; NEILANDS, 1957; AGARWALA y col., 1964; AGARWALA y col., 1965), los citocromo a y a<sub>3</sub> pierden un tercio de la suya, en caso de una deficiencia extrema (HEALY y col., 1955; WEINSTEIN y ROBBINS, 1955) y la peroxidasa no acusa variación alguna (HEALY y col., 1955; DE KOCK y col., 1960; MARSH y col., 1963b; PRICE, 1968; DEL RIO y col., 1978).

Las flavoproteínas actúan de intermediarias en la cadena respiratoria pero no pueden ceder directamente su electrón al oxígeno molecular. La mayoría de ellas actúan como deshidrogenasas (SINGER y MASSEY, 1957; SKOK, 1957; MASSEY, 1958; RINGLER, 1961).

En las plantas superiores, la ferredoxina se considera como el primer reductor estable y químicamente --



aislable que se forma a expensas de la energía radiante (SAN PIETRO y BLACK, 1965). Por vía enzimática, la ferredoxina reducida puede ser oxidada por el oxígeno (TAGAWA y ARNON, 1962; CHANCE y SAN PIETRO, 1963; HORIO YAMASHITA, 1963) y diversas hemoproteínas (DAVENPORT y col., 1952; DAVENPORT y HILL, 1960; KEISTER y SAN PIETRO, 1963). Muchos de los síntomas de la clorosis férrica están asociados a la disminución de la actividad de esta enzima (MARSH y col., 1963a). La ferredoxina, como sistema redox, interviene en el proceso de la fotosíntesis, así como en la reducción de nitratos, sulfatos y en la asimilación del nitrógeno -- (PANEQUE y col., 1963; LOSADA y col., 1963; ZHIZNEVSKAYA, 1973; NICHOLAS, 1975; LOSADA y GUERRERO, 1979; MENGEL y KIRKBY, 1979).

Las fitoferritinas (ferritinas) parecen jugar un papel importante en la bioquímica del hierro en las plantas. Representan la reserva de hierro que se utiliza para el desarrollo de los plastidios necesarios en la fotosíntesis (HYDE y col., 1963; CATESSON, 1966; MARINOS, 1967; NEILANDS, 1974; NICHOLAS, 1975) y se encuentran en grandes cantidades en los cloroplastos (BARTON, 1970), que contienen más del ochenta por ciento del hierro en las plantas (NEISH, 1939).

La deficiencia de hierro conduce invariablemente a una reducción del contenido protéico en las hojas (WEINS

TEIN y ROBBINS, 1955; PERUR y col., 1961; AGARWALA y col., 1965). Se ha llegado a demostrar que las proteínas más afectadas son las del cloroplasto (WEINSTEIN y ROBBINS, 1955; WELKIE y MILLER, 1960). Según algunos autores (ANDERSON y ROBERTSON, 1960; STANIER, 1960) son los carotenoides los que confieren estabilidad a la clorofila y la protegen contra la destrucción fotodinámica. Sin embargo, para otros (HERAS, 1961) es un compuesto férrico, la ferredoxina, el que, reduciendo la clorofila activa, la transforma en estable. Hay todavía una considerable controversia sobre si el hierro juega un papel directo en la formación de la clorofila (ZHIZNEVSKAYA, 1973; NICHOLAS, 1975; MENGEL y KIRKBY, 1979).



### 1.3.3. Interacciones del hierro con otros nutrientes

#### Fe-N

Las plantas deficientes en hierro tienen un contenido mayor de nitrógeno soluble que los normales, como resultado, quizás, de una desintegración de las proteínas (ILJIN, 1943). Se ha demostrado que las plantas cloróticas acumulan más arginina que las normales (HOLLEY y CAIN, 1955; WALLACE y col., 1976).

#### Fe-P

La existencia en el medio de cultivo de cantidades elevadas de fósforo, unida a un pH neutro o alcalino, provoca la precipitación del hierro en forma de fosfato férrico en el sistema vascular de la hoja (BIDDULPH, 1941; REDISKE y BIDDULPH, 1953; MILLER y col., 1960) e incluso en la raíz (BIDDULPH, 1953; HIATT y EVANS, 1960; AYED, 1970).

#### Fe-K-Ca-Mg

En plantas cloróticas, se aprecia una mayor proporción de potasio y menor de calcio que en plantas sanas (WALLACE, 1928; THORNE y WALLACE, 1944; McGEORGE, 1948).

El aumento de la relación K/Ca se ha observado no sólo en los casos de clorosis férrica en condiciones de campo sino también en experiencias de clorosis provocada con soluciones nutritivas (WADLEIGH y BROWN, 1952; BOLLE-JONES, 1955b). El contenido en potasio en hojas cloróticas de álamo, crecidos en condiciones de vivero, era más del doble que en hojas normales y el contenido en calcio era un tercio menos, disminuyendo también el contenido de magnesio. La relación K/Ca+Mg en hojas cloróticas era seis veces mayor que en hojas normales (NIJENSOHN y col., 1969). No se sabe aún, con claridad, si esta anormal relación entre cationes es causa o efecto de la clorosis férrica (NIJENSOHN, 1973).

Un exceso de calcio en el medio, provoca la aparición de síntomas de deficiencia férrica (ILJIN, 1951; HOLMES y BROWN, 1955; SAGLIO, 1969; BROWN y col., 1977). Aunque se ha interpretado como un efecto de competencia por compuestos de coordinación específica (BROWN, 1956) parece ser debido, más bien, a un efecto de aumento del pH del medio (ILJIN, 1951; HOLMES y BROWN, 1955; LINGLE y col., 1963; SAGLIO, 1969; BROWN y McDANIEL, 1978a).

#### Fe-Mn

El exceso de manganeso provoca en las plantas síntomas de deficiencia en hierro y desde hace muchos años se sugirió (SHIVE, 1941; SOMERS y col., 1942; SOMERS y

SHIVE, 1942) que el alto potencial redox del sistema  $Mn^{++} \rightleftharpoons Mn^{+++}$  provocaría la oxidación del  $Fe^{++}$  a  $Fe^{+++}$  en la célula y éste sería precipitado por el fosfato (NOACK y LIEBICH, 1941). Cuando en el medio de cultivo existe una relación Mn/Fe muy alta, se provocan -- síntomas de deficiencia de hierro. Este efecto no parece estar relacionado con la absorción sino con una perturbación de la actividad enzimática del hierro, - aunque este mecanismo aún no está muy claro (PALAVEEV y col., 1975; MENGEL y KIRKBY, 1979).

#### Fe-Zn

El cinc es el elemento que interfiere más fuertemente en la acción del hierro. Limita su absorción y también, en alto grado, su transporte hacia el ápice del tallo (LINGLE y col., 1963).

En un experimento con algodón, creciendo en suelo deficiente en cinc, se observó un incremento en la ab sorción del hierro que disminuyó al añadir cinc al me dio (AMBLER y col., 1971). El mecanismo de respuesta a la deficiencia de hierro se acentúa en condiciones de deficiencia de cinc quizá porque el cinc compite - con el  $Fe^{++}$  a nivel de absorción (BROWN, 1978).

## Fe-Cu

Se observó en un ensayo con maíz que cuando éste crecía bajo condiciones deficitarias de cobre, el hierro se acumulaba en los nudos de la planta y al añadir cobre al medio de cultivo, se deprimía la absorción del hierro llegando a presentarse síntomas de deficiencia en este último elemento (clorosis) (BROWN y JONES, 1975). Parece ser que en condiciones de deficiencia en cobre del medio, el potencial redox favorece la absorción de hierro en algunas especies vegetales (BROWN y CLARK, 1977).

## Fe-Mo

El molibdeno afecta la capacidad reductora de las raíces y la absorción de hierro por la planta (BERRY y REISENAUER, 1967).

En ausencia de molibdeno, parece que se incrementa la absorción de hierro (ROMERO y AGUILAR, 1981), bajando ésta al ir aumentando el nivel de molibdeno y estableciéndose un equilibrio a determinado nivel de molibdeno en el medio.

## Fe-Si

La deficiencia de silicio provoca una absorción de

hierro excesiva y al aumentarse el suministro de sílice en el medio, se disminuye la absorción de hierro y manganeso, incluso la del fósforo, si la concentración de éste último es muy elevada (OKUDA y TAKAHASHI, 1964).

Se recogen, finalmente, en la bibliografía, algunos trabajos sobre el antagonismo, en ciertas especies vegetales, entre el hierro y el cobalto (WALLACE y col., 1976), el cromo (GEMMELL, 1972; TURNER, 1973) el níquel (ROTH y col., 1971; IIZUKA, 1975) y el selenio (PALA--VEEV y col., 1975).





#### 1.3.4. Síntomas visuales de su deficiencia

La sintomatología de la deficiencia de hierro, localizada principalmente en las hojas, se reduce a dos manifestaciones bien delimitadas: clorosis y necrosis.

La clorosis es la falta de formación de clorofila o su destrucción, una vez formada. La clorosis debida a la falta de hierro se manifiesta en las áreas internerviales, quedando los tejidos adyacentes a éstas, relativamente verdes, lo que origina un típico reticulado en el que las nerviaciones de cualquier orden conservan su color verde mientras que el mesófilo va pasando, a medida que progresa la clorosis, por tonos --verde pálido, verde amarillento, amarillo y finalmente blanco (WALLACE y LUNT, 1960; TAKKAR y RANDHAWA, 1978). En un estadio posterior, la clorosis afecta también a las nerviaciones, comenzando por las más finas y progresando hasta que todo el limbo foliar pierde su color. Las regiones basales de las nerviaciones laterales y los tejidos adyacentes al nervio principal de la hoja son, con frecuencia, los últimos en manifestar la clorosis, quedando finalmente contorneados por estrechos márgenes verdes, hasta resultar totalmente cloróticos (WALLACE, 1961; ISHIZUKA, 1978).

La clorosis evoluciona con el tiempo, dentro de una misma hoja y lo hace de forma característica en la planta entera. Empieza por afectar a las hojas jóvenes que surgen cuando el hierro utilizable del medio empieza a ser insuficiente y a medida que la cantidad de hierro disponible se va haciendo menor, la intensidad del fenómeno va progresando, por lo que las hojas más jóvenes aparecen más afectadas que sus predecesoras, pudiendo encontrarse en una misma planta todas las fases de la deficiencia, desde hojas completamente normales a hojas totalmente cloróticas (ISHIZUKA, 1978). Esto se debe, lo mismo que el reticulado de las nerviaciones, a la distribución del hierro y a su escasa movilidad o inmovilidad, según han demostrado las radiografías obtenidas por DE KOCK (1955).

En algunas especies, la clorosis va seguida de la aparición de coloraciones purpúreas en los nervios y peciolo de las hojas jóvenes y en la epidermis de los tallos, debido a la formación de antocianinas (TAKKAR y RANDHAWA, 1978).

La necrosis no se suele presentar en las áreas internerviales y aunque pueda aparecer este síntoma prematuramente, casi siempre lo hace cuando la clorosis se halla en la última fase. Es este un hecho importante que permite distinguir las deficiencias de hierro de las de manganeso (BROWN, 1961).

### 1.3.5. Plantas indicadoras de la deficiencia del hierro

La eficacia de una planta determinada para utilizar el hierro disponible en el medio de cultivo, va a depender, como en el caso de los restantes microelementos, - del propio metabolismo de la planta que le haga capaz - de extraer el hierro del medio en condiciones desfavorables. Esta eficacia nos permite clasificar a las plantas, bajo este aspecto, en eficientes e ineficientes -- (BROWN, 1978). Una planta será eficiente cuando sea capaz de incrementar la capacidad reductora de sus raíces cuando tenga facilidad para extraer hierro del medio en presencia de altas concentraciones de fósforo (MARSCHNER y col., 1978). La eficiencia de una planta es adaptativa y está genéticamente controlada, en algunas especies vegetales (BROWN, 1979b).

Se citan repetidamente en la bibliografía como plantas eficientes el tomate (WALLIHAN, 1976; WALLIHAN y -- BRADFORD, 1977) y la judía (WALLACE y ROMNEY, 1977; MOLINERO, 1978; BROWN, 1979a; RANDHAWA y col., 1979; WALLACE y MUELLER, 1980), aunque algunos autores emplean el girasol, cebada y maíz (MARSCHER y col., 1974), soja y sorgo (BROWN y JONES, 1976) y diversos cereales (CHRIST, 1974) y se destaca que las plantas monocotiledóneas son menos eficientes frente al hierro que las dicotiledóneas.



#### 1.4. El Manganeso



#### 1.4.1. El manganeso en el suelo

Aunque la concentración de manganeso en los suelos de cultivo oscila entre 20 y 6.000 ppm, la cantidad de manganeso en forma disponible para las plantas lo hace entre 200 y 3.000 ppm (SWAINE, 1975).

Los principales minerales de manganeso son óxidos, pero también existen carbonatos y silicatos.

En condiciones naturales, el manganeso se encuentra bajo tres formas de valencia distinta, 4, 3 y 2. El manganeso divalente que se absorbe en las arcillas y la materia orgánica del suelo, es la forma más abundante en la solución del suelo. En ésta, el ión  $Mn^{+++}$  es inestable y el  $Mn^{++++}$  sólo aparecería con valores de pH muy por debajo de los que se encuentran en la naturaleza. Probablemente todo el manganeso de la solución del suelo está formando parte de complejos orgánicos (GEERING y col., 1969), que por otra parte, son menos estables que los formados por otros metales pesados (HEM, 1963; NORVELL y LINDSAY, 1969).

En el ciclo del manganeso en el suelo, el equilibrio entre las tres formas posibles de manganeso, está



dirigido por procesos de oxido-reducción (DION y MANN, 1946). En condiciones reductoras, los compuestos de --manganeso corresponden a la valencia 2 y en condicio--nes fuertemente oxidantes, el compuesto más estable es el  $MnO_2$ . En condiciones intermedias, finalmente, el manganeso se encuentra bajo las tres formas de valencia.

Todos los factores que influyen en las reacciones redox del suelo, determinan la disponibilidad del manganeso. Esta es más alta en suelos ácidos (LINDSAY, --1978a). En condiciones de pH alto, la cantidad de manganeso disponible puede ser inadecuada para las necesidades de la planta. Los suelos con grandes cantidades de materia orgánica y pH alto son propensos a la deficiencia de manganeso (LONERAGAN, 1975; MENGEL y KIRKBY 1979).

Por otra parte, la actividad microbiana en el suelo, juega un importante papel en el balance  $Mn^{++} \rightleftharpoons Mn^{++++}$ . Existen microorganismos en el suelo capaces de oxidar  $Mn^{++}$  a  $Mn^{++++}$  y también existen microorganismos que -ejercen la acción contraria, esto es, solubilizan en -condiciones adecuadas  $Mn^{++}$  a partir de  $MnO_2$  insoluble (BAREA y col., 1971a y 1971b; OLIVARES y col., 1972).

La incidencia y severidad de la carencia de manganeso, parece depender de las condiciones de humedad y frío en el suelo, que afectan a la actividad metabólica de las raíces (BATEY, 1971).

#### 1.4.2. El manganeso en la planta

El manganeso es absorbido por las plantas en su forma reducida  $Mn^{++}$  y todas las circunstancias que favorezcan su oxidación a  $Mn^{+++}$  y  $Mn^{++++}$  disminuirán la cantidad de manganeso disponible. Pueden ser éstas, entre -- otras, una intensa aireación del medio y la alcalinidad aunque si el pH del medio sube por encima de 8,0 desaparecen los síntomas provocados por la alcalinidad, fenómeno que se atribuye a la acción de la microflora (GISIGER, 1950). La variabilidad genética es un factor a considerar en cuanto a la facilidad de absorción de manganeso en numerosas especies vegetales (COLLANDER, 1941; WEISS, 1943; BROWN y col., 1958; BROWN, 1961; RONSON y LONERAGAN, 1970). El desarrollo radical es otro factor que condiciona el proceso de absorción (BARBER y col., 1963; OLIVER y BARBER, 1966a y 1966b; LONERAGAN, 1975) y como aquél está estrechamente relacionado con el suministro de carbohidratos por las hojas y éste, a su vez, con la actividad fotosintética. La absorción, pues, va a depender de la iluminación de la hoja (McCOOL, -- 1935; SUTTON y HALLSWORH, 1958; DONALD, 1963) y además está influenciada por la absorción de otros nutrientes (MOORE, 1972; LONERAGAN, 1975).

Una vez el manganeso dentro de la planta, se acumula en la raíz (WILKINSON y GROSS, 1967) y desde allí se transporta a brotes y hojas (WITTWER y TEUBNER, 1959; - MATSUDA, 1968; AMBERGER, 1973), tejidos meristemáticos y nuevamente a las raíces (ROMNEY y TOTH, 1954; BOKEN, 1960) quizás a través del floema (MENGEL y KIRKBY, --- 1979). Dentro de la parte aérea, los folíolos acumulan más manganeso que los tallos y peciolos (BEESON y McDONALD, 1951). Se supone, a través de análisis electroforéticos (BREMNER y KNIGHT, 1970; TIFFIN, 1972), que el manganeso se transporta como  $Mn^{++}$  y no en forma de complejos orgánicos. La edad del tejido condiciona, en parte, la concentración en él del manganeso (BEESON y McDONALD, 1951; ROMNEY y TOTH, 1954; SMITH, 1962; MASUI y col., 1980).

Se ha estudiado la intervención del manganeso en la actividad fotosintética (PIRSON, 1937; PIRSON y col., - 1952; ARNON, 1954; CONSTANTOPOULUS, 1970) encontrándose que ésta es menor en las hojas deficientes en manganeso.

El manganeso está implicado en los procesos de oxidoreducción de los sistemas de transporte de electrones fotosintéticos. Basándose en que la deficiencia del manganeso provoca en los cloroplastos grandes cambios estructurales (MERCER y col., 1962; CALVO LOREA, 1967; WEIER y BENSON, 1967; IGNATOV y DECHEV, 1969) se esta-

bleció (HOMANN, 1967a y 1967b; HOMANN y SCHMID, 1967) que el fotosistema II (FS-II) depende primordialmente de una estructura lamelar intacta con empaquetamiento de tilacoides y sólo secundariamente de su contenido en manganeso. El paquete de tilacoides suministraría el medio necesario para la fotooxidación del agua por el FS-II, actuando el manganeso como primer aceptor de electrones (BOARDMAN, 1975; BARKER, 1979). Cuando existe deficiencia de manganeso la estructura de los cloroplastos se deteriora, aún cuando los orgánulos no muestran alteración visible (BROWN y col., 1958; POSSINGHAN, 1964; POSSINGHAN y col., 1964). Se han aislado (CHENIAE y MARTIN, 1970) dos fracciones de manganeso en los cloroplastos: una libre y otra fuertemente unida a la membrana. La fracción libre está ligada a la evolución -- del oxígeno mientras que la segunda es parte esencial del donador de electrones en el FS-II.

Como el manganeso participa en el proceso fotosintético, actúa indirectamente en la reducción de los nitritos, en la etapa de asimilación de los nitratos --- (HEWITT, 1970).

El  $Mn^{++}$  puede ser sustituido por el magnesio en algunas enzimas (descarboxilasas y deshidrogenasas) del ciclo TCA (MENGEL y KIRKBY, 1979).

Parece posible que la toxicidad debida al manganeso esté relacionada con la deficiencia de auxinas, según: MORGAN y col. (1966), TAYLOR y col. (1968); GAUCH, (1972) y RAINS, (1976).



### 1.4.3. Interacciones del manganeso con otros nutrientes

#### Mn-N

Hemos recogido una referencia correspondiente a SIDERIS y YOUNG (1949) en la que se da cuenta de que el suministro de nitrógeno en forma amónica, a plantas de piña, creciendo en soluciones hidropónicas, da lugar a un contenido en la planta, de manganeso, que es la mitad del que resulta de una alimentación nítrica, deduciendo estos autores que existe un antagonismo entre el manganeso y el ión  $\text{NH}_4^+$ .

#### Mn-P

La interacción entre el manganeso y el fósforo se ha estudiado con detalle, usando plantas de trigo cultivadas en solución hidropónica (JACKSON y col., 1964). La absorción del manganeso disminuye con niveles bajos de fósforo en el medio y este efecto se manifiesta antes de que se produzca la reducción radicular (RANDHAWA y col., 1979). Incrementándose el suministro de fósforo se origina un aumento en la absorción de manganeso y también se favorece el transporte de éste hacia los brotes (MISHRA

y TRIPATHI, 1973). A su vez, la presencia de manganeso en el medio hace aumentar significativamente la absorción del fósforo (HEINTZE, 1968; KOTER y BARDZICKA, -- 1972; MAZEPIN y ABRAMOV, 1975) así como su transporte dentro de las hojas (KLIMOVITSKAYA y col., 1968; PATHAK y col., 1972).

#### Mn-K

El potasio es capaz de reducir los síntomas de toxicidad que aparecen en plantas que crecen en un medio -- con excesivo manganeso (VLAMIS y WILLIAMS, 1962).

#### Mn-Ca

Se ha estudiado la interacción entre el manganeso y el calcio, utilizando plantas de tabaco (SWANBACK, 1939). Parece ser que los síntomas de deficiencia de manganeso aumentan al incrementar el suministro de calcio en el me dio (HARASZTI, 1972; PALEVEEV y col., 1975). Este antagonismo se había confirmado con los trabajos de TAPER y LEACH (1957) y de VLAMIS y WILLIAMS (1962) en los que - se hace referencia, también, al hierro.

#### Mn-Mg

Está también descrito el antagonismo entre el manga

neso y el magnesio (LÖHNIS, 1960; FORESTIER y BELAY, 1966; MAAS y col., 1969).

#### Mn-S

La absorción del azufre es favorecida por el manganeso (WALLACE y col., 1974).

#### Mn-Fe

La primera indicación de la existencia de una posible interrelación entre el manganeso y el hierro, a nivel de su absorción por las plantas, se debe a SALM-HORSTMAN (1849) que observó, en plantas de avena, que los síntomas de deficiencia de manganeso se hacían menos agudos al disminuir la cantidad de hierro recibida por la planta. Comprobó también que era perjudicial eliminar totalmente el hierro, ya que las plantas crecían normalmente si se administraban ambos elementos juntos y en adecuada proporción. La interacción entre el hierro y el manganeso en las plantas, fue concretada por SHIVE (1941). Su teoría es que la forma activa del hierro en la planta es el  $Fe^{++}$  por su papel en la formación de la clorofila y otros compuestos metabólicos y que el potencial de oxidación del manganeso es más alto que el del hierro. Si el hierro se absorbe como  $Fe^{+++}$  una vez dentro de la planta, la mayor parte de él debe



ser reducido por los sistemas reductores de la raíz, a menos que exista alguna sustancia capaz de evitar la reducción. El manganeso sería esta sustancia, oxidando el  $Fe^{++}$  a  $Fe^{+++}$  que precipita con los fosfatos en forma, probablemente, de complejos orgánicos. La consecuencia de ésto sería que, si falta manganeso en el medio, habrá un exceso de  $Fe^{++}$  que inducirá clorosis por exceso de hierro. Por el contrario, si hay demasiado manganeso, la planta tendrá poco hierro activo y se producirán síntomas de deficiencia en hierro. La primera conclusión parece poco probable pues no se han podido demostrar efectos tóxicos directos debidos al hierro en las plantas, ya que éstas son capaces de soportar cantidades enormemente elevadas de este elemento en la solución, sin mostrar el menor síntoma de toxicidad. Sólo las aplicaciones foliares de sales de hierro en cantidades excesivas, pueden provocar algún síntoma en las hojas.

En experiencias posteriores, SOMERS y SHIVE (1942) determinaron las fracciones solubles (activo) e insoluble (inactivo) del hierro y manganeso. Demostraron, -- sin lugar a dudas, que el peso y las condiciones de la planta, están relacionadas con el cociente Fe/Mn y no con las concentraciones aisladas de ambos nutrientes. Esta conclusión ha sido apoyada posteriormente (TEWARI y col., 1969), así como por TWYMAN (1951) después de una amplia investigación con plantas de avena, lechuga

y tomate. BOLLE-JONES (1955b) estableció también que al aumentar la cantidad de hierro en un medio que contenía todos los demás elementos en proporción adecuada, aumentaba el manganeso en la raíz pero disminuía en los brotes y concluyó que el hierro reducía la movilización del manganeso a través de la planta. Todo ello puso de manifiesto el antagonismo entre el manganeso y el hierro (GUPTA, 1972d; PALAVEEV y col., 1975; HARA y col., 1976).

#### Mn-Zn

La relación Mn/Zn parece ser un importante parámetro de la nutrición vegetal (DINGUS y KEEFER, 1968). - ISHIZUKA y col. (1968) cultivando arroz en solución nutritiva, con niveles de zinc y manganeso que abarcaban desde la deficiencia hasta la toxicidad, observaron que la absorción de manganeso se reduce al aumentar la concentración de cinc en la solución, y lo mismo ocurría invirtiendo los términos, deduciendo de esto que existe una interacción entre ambos elementos. El comportamiento del manganeso con el cinc puede ser sinérgico - (MAZEPIN y ABRAMOV, 1975; PALAVEEV y col., 1975) o antagonico (WATER, 1973; PALAVEEV y col., 1975; HARA y col., 1976) según las condiciones de la experiencia.

## Mn-Cu

No está tan clara la interacción entre el cobre y el manganeso y la bibliografía encontrada sobre este aspecto (DOKIYA y col., 1968; BERZINYA y col., 1973; PALAVEEV y col., 1975) es más bien contradictoria.

## Mn-Mo

A juzgar por las referencias encontradas, podía hablarse de un sinergismo entre estos dos elementos: CANDELA y HEWITT (1957); GERLOFF y col. (1959); CUPTA --- (1972); MAZEPIN y ABRAMOV (1975).

#### 1.4.4. Síntomas visuales de su deficiencia

Las anomalías morfológicas que se producen en las plantas como consecuencia de la falta de manganeso dependen de la especie, apareciendo lesiones fisiológicas características: clorosis, necrosis y detención del crecimiento (TAKKAR y RANDHAWA, 1978; GREWAL y TREHAN, --- 1979; MENGEL y KIRKBY, 1979).

La clorosis afecta al mesófilo de la hoja en las zonas internerviales por lo que el aspecto de las áreas cloróticas dependerá de la anatomía de la hoja. En las monocotiledóneas aparecen manchas, dispersas en un principio, que se extienden hasta formar rayas entre los nervios paralelos. En las dicotiledóneas, de nerviación reticulada, las manchas cloróticas son redondeadas y las hojas presentan un aspecto moteado (ISHIZUKA, 1978; TAKKAR y RANDHAWA, 1978; GREWAL y TREHAN, 1979; MENGEL y KIRKBY, 1979).

Las hojas primeramente afectadas son las más jóvenes (CAMP y col., 1941; COOPER, 1941; McMURTRY, 1951; GREENWOOD y DJOKOTO, 1952; MASKELL y col., 1953; MILLIKAN, 1953; WOOLLEY y BROYER, 1957) o las desarrolladas completamente (HEWITT, 1944 y 1945; WALLACE, 1961).

La clorosis provocada por la carencia de manganeso, se agudiza en condiciones de intensa iluminación (CALVO LOREA, 1967).

A medida que el estado de deficiencia se prolonga, aparecen en las hojas zonas necróticas que abarcan no sólo las zonas cloróticas sino también las regiones vecinas, llegando a afectar a las semillas (PIPER, 1941).

La falta de manganeso reduce también el ritmo de crecimiento, pudiendo llegar en casos extremos a provocar su detención total (PIPER, 1941).

Habiendo utilizado el tomate como planta indicadora, vamos a describir la sintomatología específica de la deficiencia de manganeso en dicha planta. La clorosis se manifiesta de forma gradual, comenzando por una disminución de la intensidad del color verde de las hojas que posteriormente va pasando a amarillo y finalmente a amarillo-naranja (PURVIS y CAROLUS, 1964). Las zonas cloróticas comienzan aparecer, por lo general, en el ápice de la hoja, afectando a las zonas más alejadas de los nervios principales. Posteriormente, se extienden al foliolo entero, respetando siempre las nerviaciones que conservan la tonalidad de verde oscuro. La hoja adquiere, en conjunto, un aspecto moteado característico.

Según HEWITT (1944, 1945 y 1963), los síntomas de deficiencia se presentan primero en las hojas más desarrolladas. WALLACE (1961) y WOOLLEY y BROYER (1957) -- afirman, por el contrario, que ello ocurre en las hojas más jóvenes, extendiéndose luego a las más viejas. Nuestras experiencias confirman la aseveración de estos últimos autores.

En los estadios más avanzados de la deficiencia, - los folíolos de las hojas más jóvenes brotan ya totalmente cloróticas y deformes, se hacen más estrechas y más largas. El porte de la planta se estiliza, apenas florece y si lo hace no se forman frutos (HEWITT, 1944 y 1945).

La detención del crecimiento y la clorosis nos indican la incapacidad de las hojas para funcionar normalmente, por haberse alterado la síntesis de la clorofila (TOWNSEND y WEDGWORTH, 1936). El follaje adquiere un aspecto pálido que podría confundirse con una deficiencia de hierro, pero la clorosis debida a la falta de manganeso no llega a ser tan intensa ni tan restringida a los brotes de crecimiento como ocurre en el caso del hierro. Como ya hemos dicho, la clorosis férrica presenta un cambio de color más brusco entre el mesófilo y las nerviaciones (YAMAZAKI y PIETTE, 1963), aunque en algunos casos de carencia extremada, los folíolos adquieren un color blanquecino (ISHIZUKA, 1978).

Inmediatamente después de aparecer las primeras manchas cloróticas y algunas veces antes, se produce la necrosis. Las descripciones sobre las características de ésta, debida a la falta de manganeso, difieren de unos autores a otros, lo que nos hace pensar que todo depende de la variedad sobre la que se hacen las observaciones. Según PURVIS y CAROLUS (1964a), la necrosis se presenta en forma de puntos pardos concentrados en las áreas amarillas más alejadas de los nervios principales. A menudo se observa que las puntas de las hojas más jóvenes se necrosan totalmente. También se presentan pequeñas motas necróticas en el tejido clorótico intervenal de los folíolos más jóvenes, especialmente en la zona de tejidos adyacentes a los nervios principales. La necrosis no aparece, en las hojas más viejas hasta que la planta no está severamente afectada. Las manchas se presentan en este caso, de color marrón y localizadas en la zona intervenal próxima a los nervios principales (ISHIZUKA, 1978).

Señalaremos, por último, que los síntomas descritos son independientes de las condiciones de cultivo y del origen de la deficiencia, ya que se ha comprobado que son idénticos en el caso de plantas cultivadas en soluciones hidropónicas, en macetas o en terrenos de cultivo (PURVIS y CAROLUS, 1964).

#### 1.4.5. Plantas indicadoras de la deficiencia de manganeso

La variabilidad genética en el reino vegetal suministra la base para la adaptación de las plantas al medio específico sobre el que se asientan (BROWN, 197b). En una serie de trabajos sobre el manganeso en suelos de cultivo, se demuestra que la deficiencia de este elemento en algunos cereales puede ser evitada escogiendo apropiadas variedades de avena, en cuanto a la cantidad de manganeso extraído del medio, dependerían, según MUNNS y col. (1963) de algunos factores de éste, como el pH, concentración de calcio, hierro disponible, etc. La capacidad reductora de las raíces parece ser un factor importante como en el caso del hierro, en la absorción y posterior translocación del manganeso.

La bibliografía sobre este tema, recoge una serie de plantas utilizadas por los diversos autores, más de veinte especies distintas destacando la avena, judía, guisante, rábano, etc. (TAKKAR y RANDHAWA, 1978), aunque es el tomate la planta más frecuentemente utilizada en estudios sobre el manganeso (SPENCER y POSSINGAN, 1960; VESK y col., 1966; JONES, 1975; TANAKA y col., 1975; CORNILLION, 1977; WALLIHAN y BRADFORD, 1977).





1.5. El Cinc



### 1.5.1. El cinc en el suelo

El cinc presente en el suelo está asociado, principalmente con los sulfuros aunque forma parte, también, de otros minerales, tales como carbonatos y silicatos. Los principales minerales del cinc son la esfalerita (SZn), la smithsonita ( $\text{CO}_3\text{Zn}$ ) y la hemimorfita ( $\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) (KRAUSKOFF, 1972; NORRISH, 1975).

La mayor parte del cinc en los suelos está absorbida por las superficies coloidales y la materia orgánica (HODSON, 1963; MIKKELSEN y KUO, 1977; SHUMAN, 1980). Algunos investigadores han encontrado grandes cantidades de cinc asociadas con la fracción de óxido de hierro, permaneciendo el cinc ocluido cuando los óxidos de hierro precipitan. El cinc presente en los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo se considera utilizable por las plantas. Los niveles de cinc en la solución del suelo son extremadamente bajos aunque esta -- circunstancia es beneficiosa dados los efectos tóxicos del cinc para las raíces de las plantas (VIETS y BOAWN, 1965; BENNET, 1974; IYENGAR y col., 1981b).

La forma en que el cinc está en el suelo dependerá

siempre del pH de éste (LINDSAY, 1978a). En suelos ácidos y neutros, la forma  $Zn^{++}$  predomina y en suelos básicos, está como  $ZnOH^+$ . Las formas  $Zn(OH)_3^-$  y  $Zn(OH)_4^{--}$  no son importantes (LINDSAY, 1972a y 1972b).

La mayor parte del cinc presente en la solución del suelo está formando complejos con ligandos solubles -- (STEVENSON y ARDAKANI, 1972; SHUMAN, 1980).

### 1.5.2. El cinc en la planta

La absorción del cinc por las plantas es un punto sometido a controversia (MOORE, 1972; WALLACE, 1975) y se discute si la absorción es controlada metabólicamente o se produce a través de un proceso de cambio catiónico a nivel celular, en la raíz. Las conclusiones a favor de esta segunda posibilidad son criticadas por LINDSAY (1972b) que no acepta la absorción pasiva del cinc, al igual que numerosos autores (SCHMID y col., 1965; BOWEN, 1969; CHAUDHRY y LONERAGAN, 1972; GIORDANO y col., 1974, etc) dan cuenta de diversos experimentos que apoyan la absorción activa.

Uno de los factores del suelo que juega un papel importante en dicha absorción es el pH (LONERAGAN, 1975; GIORDANO y MORTVEDT, 1980). Al aumentar éste, aparecen las deficiencias. La materia orgánica constituye una reserva importante de cinc disponible aunque su aporte a algún tipo de suelos, como los encharcados, alcalinos o neutros, se considera ineficaz, a este respecto (FORNO y col., 1975; DOGAR y VAN HAI, 1970). La luz y la temperatura son dos factores que afectan la absorción del cinc (OZANNE, 1955; BAUER y LINDSAY, 1965; LUCAS y KNEZEK, 1972; MIKKELSEN y KUO, 1977; GIORDANO y



MORTVEDT, 1978).

No se conoce la forma en que el cinc se traslada desde las raíces a las partes superiores de las plantas. Se ha detectado cinc, en exudados del xilema de plantas de tomate y soja, en mayor cantidad que en las raíces (TIFFIN, 1967; AMBLER y col., 1970). Mediante análisis electroforético se ha evidenciado que el cinc no se une a ligandos estables, como ocurre con el cobre y el hierro y se ha visto también que el cinc no se traslada como citrato (TIFFIN, 1967). La movilidad del cinc, dentro de la planta, no es grande y el elemento permanece inmóvil en las hojas viejas (RINNE y LANGSTON, 1960), reduciéndose su velocidad de transporte, en los tejidos jóvenes, en caso de deficiencia (LONERAGAN, 1975).

Interviene el cinc en algunos procesos enzimáticos aunque hasta recientemente, la anhidrasa carbónica (GEREBTZOFF y RAMAUT, 1970; RANDALL y BOUMA, 1973) era la única enzima específicamente activada por el cinc. Esta enzima está localizada en los cloroplastos (BARKER, 1979) y se supone funciona como tampón (JACOBSON y col. 1975). Actúa también en algunas metaloenzimas, como la deshidrogenasa del ácido glutámico, la lacticodeshidrogenasa, la deshidrogenasa del alcohol, así como en --- ciertas proteinasas y peptidasas (VALLEE y WACKER, ---

1970; RAINS, 1976). Juntamente con el cobre y el manganeso forma parte de la superóxido-dismutasa.

El cinc participa en el metabolismo de las plantas y su deficiencia hace disminuir los niveles de RNA (PRICE y col., 1972) y la síntesis protéica (RAINS, 1976).

También está implicado en el metabolismo auxínico y se precisa en la síntesis del triptófano, precursor del ácido indolacético (TSUI, 1948; SALAMI y KENEFICK, 1970) y en la formación del almidón (JYUNG y col., --- 1975).





### 1.5.3. Interacciones del cinc con otros nutrientes

#### Zn-N

En la literatura consultada aparecen algunos trabajos en los que se da cuenta de que la aplicación de nitrógeno induce a la deficiencia de cinc (CAMP y FUDGE, 1945; OZANNE, 1955; DOGAR y VAN HAI, 1980). Por otra parte, hemos encontrado conclusiones totalmente distintas en otra serie de trabajos (LANGIN y col., 1962; -- SOLTANPOUR, 1969) ya que estos autores afirman que aplicaciones elevadas de nitrógeno provocan la deficiencia en cinc.

#### Zn-P

La interacción cinc-fósforo ha sido estudiada con - amplitud y el primer trabajo sobre el tema aparece en - 1936 (BARNETTE y col., 1936). La aplicación de fósforo en el medio de cultivo hace disminuir la concentración de cinc en las plantas aunque ésto puede achacarse al - factor de dilución que va ligado al crecimiento del te-jido vegetal (BOAWN y col., 1954; RANDHAWA y col., 1979). Por otra parte, se sugirió que un incremento en la con-centración de fósforo en el medio hace más lento el trans

porte de cinc desde la raíz a los brotes y esto podía atribuirse a la precipitación de fosfato de cinc en la misma raíz (ERNST, 1968) pero esta teoría no se acepta actualmente ya que la solubilidad del fosfato de cinc es lo suficientemente alta como para provocar deficiencia de cinc, a menos que éste no pueda pasar a la savia por causas físicas (MENGEL y KIRKBY, 1979).

Se ha demostrado que el ión fosfato favorece, en el suelo, la retención del cinc (STANTON y BURGER, --- 1967; BOLLAND y col., 1977) impidiendo su absorción por la planta y que este hecho, como la mayoría de las reacciones del cinc en el suelo, depende del pH de éste.

La teoría de que al aumentar la concentración de fósforo en los tejidos vegetales aumentan las necesidades de cinc en la planta se basa en la observación de que concentraciones crecientes de fósforo deprimen la cosecha y hacen aparecer síntomas semejantes a los que provoca la deficiencia de cinc (LONERAGAN, 1978). El problema no está bien dilucidado y a través de una serie de ensayos con tratamientos cruzados de fósforo y cinc, en un amplio rango de concentración, las observaciones obtenidas fueron, en cierta medida, contradictorias (LONERAGAN y col., 1979). Parece que existe una correlación entre el crecimiento de las plantas y la relación P/Zn (LONERAGAN, 1968).

#### Zn-K-S

Tanto el potasio como el azufre, favorecen la absorción de cinc (WALLACE y col., 1974; CHETELAT, 1978).

#### Zn-Ca-Mg

Están bien descritas las interacciones entre el cinc por un parte y el calcio y el manganeso, por otra (WATER, 1973; PALAVEEV y col., 1975; HARA y col., 1976).

#### Zn-Fe

Existe un antagonismo entre estos dos micronutrientes y parece ser que el funcionamiento metabólico del hierro está ligado, de alguna forma, al suministro de cinc en la planta (LINGLE y col., 1963; BARKER, 1979; BROWN, 1979a).

#### Zn-Mn-Cu

Las condiciones del medio de cultivo condicionan las relaciones entre el cinc y los microelementos manganeso y cobre, habiéndose encontrado tanto efectos -- sinérgicos como antagónicos entre ellos (GUPTA, 1972d; BERZINYA y ZHIZNEVSKAYA, 1973; WATERS, 1973; MAZEPIN y ABRAMOV, 1975; PALAVEEV y col., 1975; HARA y col., --- 1976).



#### 1.5.4. Síntomas visuales de su deficiencia

El cinc no se transporta fácilmente desde los tejidos viejos a los jóvenes y los síntomas de deficiencia aparecen, normalmente, en los tejidos nuevos (TAKKAR y RANDHAWA, 1978).

Las plantas deficientes en cinc muestran clorosis en las áreas intervenales de las hojas. Dichas áreas - aparecen con un color verde pálido amarillento e incluso blanco (WALLACE, 1961; MENGEL y KIRKBY, 1979). En las monocotiledóneas, concretamente en el maíz, los -- síntomas comienzan en la segunda o tercera hoja, a partir del ápice, desarrollando un color amarillento y -- mostrando los nervios secundarios un color rojizo. --- Veinte o treinta días después, las hojas basales aparecen ya con manchas blancas que se van extendiendo, posteriormente, al nervio central en forma de bandas y finalmente empiezan a necrosarse los tejidos. Las plantas más deficientes se atrofian, los internudos se --- acortan y la floración y maduración se retardan (ISHIZUKA, 1978).

La sintomatología de la deficiencia, en el trigo, es muy similar (TAKKAR y col., 1973). Al comienzo del

encañado se desarrolla en la tercera hoja, contando desde la parte superior, una banda blanca o amarillenta entre el nervio central y los bordes de la hoja, sigue un moteamiento intervenal y lesiones necróticas blancas o marrones en la mitad del limbo foliar, retardándose la formación de la espiga y su madurez.

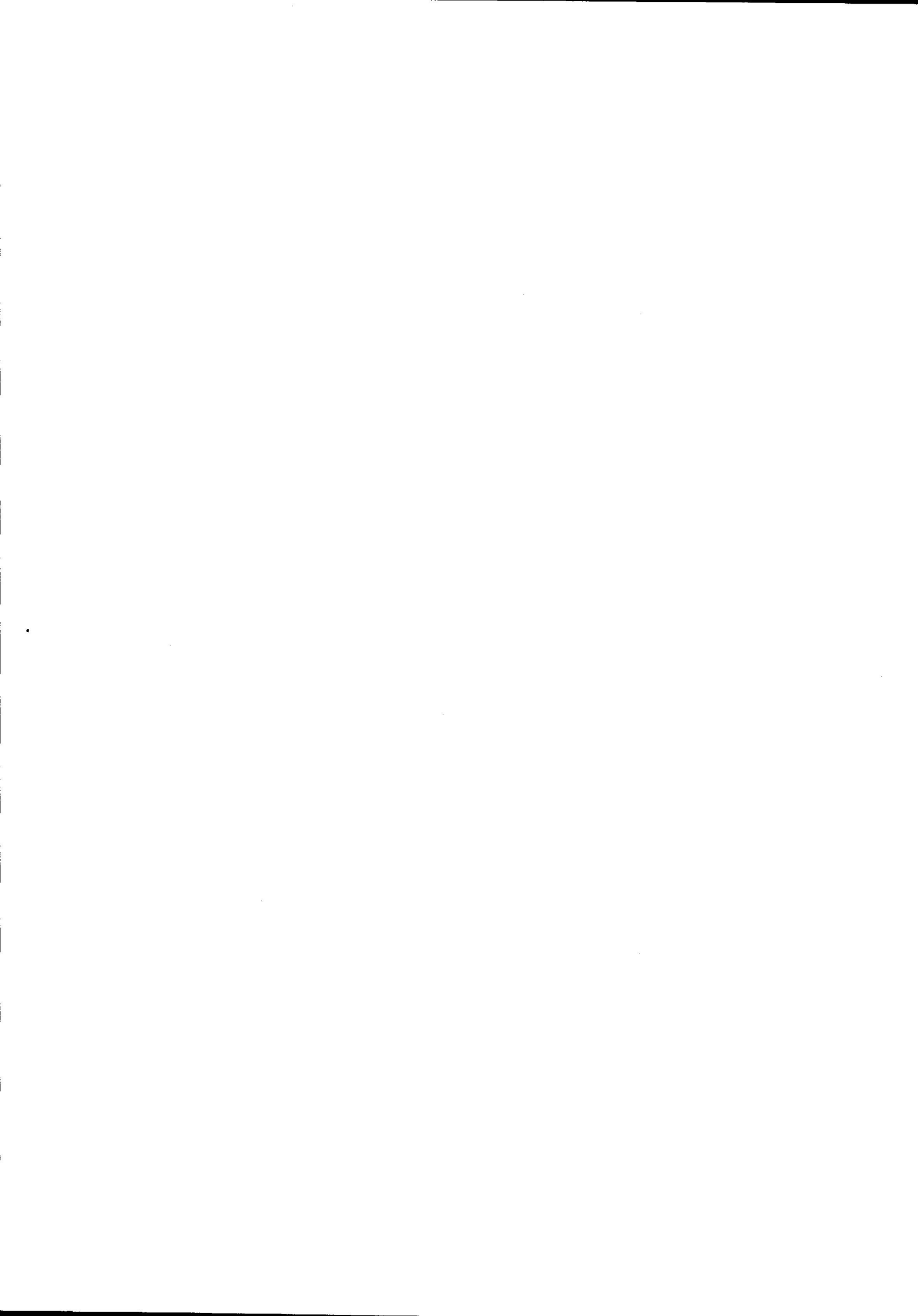
En el arroz (ISHIZUKA, 1978), cítricos (TAKKAR y - RANDHAWA, 1978) y patatas (GREWAL y TREHAN, 1979) los síntomas se repiten y también están descritos procesos similares en el caso del garbanzo y del cacahuete (TAKKAR y col., 1973).

#### 1.5.5. Plantas indicadoras de la deficiencia del cinc

Varias especies de plantas han sido utilizadas como indicadoras en diversos estudios sobre este elemento: patata (LONERAGAN, 1978; GIORDANO y col., 1979), - arroz (BROWN y McDANIEL, 1978b; TAKKAR y RANDHAWA, 1978; DOGAR y VAN HAI, 1980), trigo (WALLACE, 1961; TAKKAR y RANDHAWA, 1978; YLÄRANTA y col., 1979); avena (BROWN y McDANIEL, 1978b), caña de azúcar (MEYER, 1978), lino - (SPRATT y SMID, 1978), judía (BROWN, 1979a), etc. Puede incluirse en esta lista una planta no cultivada, la *Viola calaminaria* que crece en suelos muy ricos en cinc como ocurre en las proximidades de minas de este mineral (MILLER y FLEMION, 1973).

A juzgar por las veces que es citado en los trabajos revisados, correspondientes a este microelemento, podemos considerar el maíz como la planta representativa del cinc. Se ha utilizado en numerosos estudios sobre el elemento, tanto referentes a suelos como a plantas (GUNDERSON y col., 1965; WARNOCK, 1970; PRASAD y col., 1971; SULLIVAN, 1972; TERMAN y col., 1972; STA--SHAUSKAYTE y NAVAITENE, 1973; MORTVEDT y GIORDANO, 1975; BHATTI y SARWAR, 1977; WALLACE y col., 1977; ISHIZUKA, 1978; MANN y col., 1978; TAKKAR y RANDHAWA, 1978; RANDHAWA y col., 1979; PEASLEE y LEGGETT, 1980; IYENGAR y col., 1981b).





1.6. El Boro



### 1.6.1. El boro en el suelo

El boro se encuentra en el suelo, principalmente, en forma de ácido bórico y boratos, estando estos últimos adsorbidos en las partículas del suelo o en la solución del mismo. También está presente en algunos silicatos de los que se libera en forma de ácido bórico.

El mineral de boro más conocido es la turmalina, -borosilicato de flúor, que libera ácido bórico muy difícilmente, durante los lavados del suelo (GUPTA, 1979). El nivel de boro total en los suelos oscila, entre 7 y 80 ppm y en la solución de suelo, la gama se extiende entre 3 y 1000 ppm (LONERAGAN, 1975; LINDSAY, 1978a).

El pH del suelo es el factor más importante en relación con la disponibilidad de boro en el suelo (GUPTA, 1979). Cuando aumenta el pH, la disponibilidad del boro se hace menor, existiendo, según algunos autores, una correlación negativa entre ambos parámetros (WOLF, 1940; GUPTA, 1972a; BARTLETT y PICARELLI, 1973; BENNETT y MATHIAS, 1973) así como entre el pH y la absorción - del boro por parte de la planta (WEAR y PATTERSON, 1962; BARBER, 1971a y 1971b; GUPTA, 1972b; PETERSON y NEWMAN, 1976; GUPTA y McLEOD, 1977).

También influye la textura del suelo en la disponibilidad del elemento (WEAR y PATTERSON, 1962) ya que - el tamaño de las partículas de la arcilla y la cantidad de arena (HINGSTON, 1964; GUPTA, 1968; SINGH y col., 1976) son factores condicionantes de la mayor o menor presencia de boro soluble en el suelo.

La materia orgánica en suelos ácidos es una de las fuentes principales de boro ya que, a niveles de bajo - pH, muy poco boro está absorbido en la fracción mineral de los suelos (OKAZAKI y CHAO, 1968). Parece que existe una correlación positiva entre el contenido de materia orgánica en el suelo y la cantidad de boro disponible - en el mismo (GUPTA, 1968). Debido a ello, la adición de materia orgánica en el suelo de cultivo, aumenta la cantidad de boro en las plantas que nacen sobre él (PURVES y MCKENZIE, 1973). Este boro, procedente de la materia orgánica, parece que se libera por la acción de los microorganismos (BERGER y PRATT, 1963).

La teoría de que en los suelos con alto pH y alto - contenido en materia orgánica se favorece la disponibilidad del boro (MILJKOVIC y col., 1966) está en desacuerdo con la de REISENAUER y col. (1973) que aduce que no se conoce exactamente el papel jugado por la materia orgánica y la influencia de la acción microbiana.

### 1.6.2. El boro en la planta

Aunque el proceso de absorción del boro, por parte de la planta, no está aún bien dilucidado, parece que el elemento es absorbido en forma de ácido bórico (LONERAGAN, 1975). TANAKA (1967b), trabajando con girasol, estableció que el boro acumulado en las raíces se absorbe pasivamente en los espacios libres de las células, en forma de complejos borato-polisacárido.

BOWEN y NISSEN (1976) utilizando raíces de cebada, localizaron fracciones de boro en el agua de los espacios libres en forma de complejos borato-polisacáridos enlazados de forma reversible en las paredes celulares y dedujeron de aquí que la absorción de boro sigue un proceso metabólico siguiendo el flujo del agua a través de las raíces.

La intensidad de la luz, como ya hemos visto en el caso de otros micronutrientes, es uno de los factores ambientales que afectan la absorción de boro. El crecimiento rápido de las plantas, en condiciones de gran luminosidad, desarrolla los síntomas de deficiencia (TANAKA, 1966; MacINNES y ALBERT, 1969; BROYER, 1971; GUPTA, 1979).

En un experimento realizado con plantas de cebada, el aumento de la temperatura afectó favorablemente el contenido de boro en las hojas aunque no el de las raíces (VLAMIS y WILLIAMS, 1970).

La humedad influye también en la absorción del boro. La deficiencia del elemento, observada en épocas de sequía, está asociada a la reducción de la velocidad de difusión de la solución de suelo así como a la limitación del flujo de transpiración en las plantas, aunque en el suelo exista una cantidad adecuada de boro disponible (MORTVEDT y OSBORN, 1965; KLUGE, 1971; -- BRITISH-COLUMBIA, 1976; GUPTA y col., 1976).

La literatura consultada, en relación con la influencia del genotipo en la absorción de boro, es más bien escasa y no permite extraer conclusiones definitivas (WALL y ANDRUS, 1962; GORSLINE y col., 1965; BROWN y col., 1972; BEAUCHAMP y HUSSAIN, 1974).

El transporte del boro se efectúa a través del xilema como ácido bórico, en diferentes grados de disociación, dependiendo del pH del jugo xilemático (JONES, 1970; OERTLI y RICHARDSON, 1970). El boro es relativamente inmóvil dentro de la planta y frecuentemente, aunque no siempre, el contenido de boro aumenta desde las partes más bajas de aquélla a las más altas (CRIPPS, -- 1956; WILKINSON, 1957; JIMENEZ, 1977).

La velocidad de transpiración tiene una influencia decisiva en el transporte del boro (MICHAEL y col., -- 1969) ya que se desplaza, según hemos visto antes, a través del xilema. Esto hace que el boro se acumule en las puntas y márgenes de las hojas (JONES, 1970; OERTLI y RICHARDSON, 1970). Esta acumulación puede dar lugar a fenómenos de toxicidad y algunas especies están adaptadas para secretar boro por el efecto de la gutación (OERTLI, 1963). El movimiento del boro en la corriente de transpiración, explica también el hecho de que la deficiencia de boro empieza siempre en los puntos de crecimiento. Este comportamiento es similar al del calcio. El boro, al igual que el calcio, no se encuentra en el floema. La concentración de boro en órganos como las anteras, estigma y ovarios, suele ser muy alta, -- llegando a ser, a veces, doble que en el tallo (SYWOROTKIN, 1958).

Existe muy poca información acerca de las funciones del boro dentro de la planta, que permanecieron oscuras hasta la mitad de la década de los 50, aunque ya en --- 1934, (SCHMUCKER, 1934), se sugería que el boro formaba parte de compuestos polihidroxilados de la pared celular. A partir de 1957 (SPURR, 1957) se apreció la importancia que tiene el boro en la formación de la pared celular ya que la deficiencia de boro va acompañada del engrosamiento de aquélla (BIRNBAUM y col., 1977; VAN DE VENTER y CURRIER, 1977).



Se considera al boro como un elemento importante para el desarrollo de los tejidos vegetales. En ausencia de boro, el desarrollo de éstos es anormal (KORONOWSKI, 1961). Los síntomas morfológicos primarios consecuentes a la deficiencia de boro se traducen, en el caso de las habas, en un lento descenso del crecimiento de la raíz, seguido de una degeneración del tejido meristemático, debido, posiblemente a un efecto depresivo en la división celular (JACKSON y CHAPMAN, 1975). Igualmente, trabajando con habas que crecían en un medio deficiente en boro, se observó un alargamiento de los ápices y menor número de células que en las raíces de plantas con suficiente boro (WHITTINGTON, 1959a). Utilizando raíces de tomate, ODHNOFF (1957), KOUCHI y KUMAZAWA (1976) encontraron distorsión en la colocación y forma de las células corticales y un desarrollo anormal del aparato de Golgi lo que parece estar relacionado con el grosor irregular de las paredes celulares. COHEN y LEPPER (1977) señalan que el boro es necesario para mantener la actividad meristemática. Se aduce por el contrario que todos estos síntomas morfológicos no están causados por interferencias en el proceso de la división celular sino por la relación del boro con el metabolismo de transporte o la acción de hormonas auxínicas (ROBERTSON y LOUGHMAN, 1974b).

La hipótesis más conocida sobre el papel del boro en el metabolismo de las plantas se debe a GAUCH y DUG

GER (1954), según la cual, el boro facilita el transporte de los azúcares. SISLER y col. (1956) explican la intervención del boro en dicho transporte, a través de un complejo ionizable azúcar-borato que se mueve -- más fácilmente a través de las membranas celulares que el azúcar sin asociar. Posteriormente, DUGGER y HUMPHREYS (1960) atribúan al boro una participación directa en las reacciones enzimáticas que tienen lugar en la síntesis de la sacarosa y el almidón. La deficiencia de boro causaría también una reducción de la síntesis de la glucosa-uridina-difosfato (BIRNBAUM y col., 1977).

El oscurecimiento del tejido vegetal y la posterior necrosis como consecuencia de la deficiencia de boro, se explica en numerosos trabajos por la intervención -- de este elemento en el metabolismo de las auxinas y la síntesis fenólica (SLACK y WHITTINGTON, 1964; LEE y -- ARONOFF, 1967; COKE y WHITTINGTON, 1968; SHKOLNIK, 1974; CRISP y col., 1976; BOHNSACK y ALBERT, 1977).

Asímismo, interviene el boro en la síntesis de los ácidos nucleicos (JOHSON y ALBERT, 1967; JACKSON y CHAPMAN, 1975) y numerosos investigadores indican la influencia del boro en la absorción y metabolismo del -- nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (SHERSTNEV y KURILENOK, 1964; ALBERT, 1968; HUNDT y col., 1970; KIBALEN

KO y col., 1973; ROBERTSON y LOUGHMAN, 1974a; CADAHIA y col., 1976; HOLEVAS, 1976; BIRNBAUM y col., 1977).

### 1.6.3. Interacción del boro con otros nutrientes

#### B-N

Aparecen abundantes referencias bibliográficas de trabajos, sobre la influencia recíproca entre el boro y el nitrógeno (CHAPMAN y VANSELOW, 1955; YAMAGUCHI y col., 1958; JONES y col., 1963; GUPTA y col., 1973; - SMITHSON y HEATHCOTE, 1976; GUPTA y col., 1976), en los que se estudian los efectos producidos sobre el contenido de boro en las plantas y los rendimientos de cosecha, al aplicar cantidades variables de boro. Hay que destacar que algunos de los resultados encontrados en ensayos de invernadero, no se confirman al llevar estos mismos ensayos al campo.

#### B-P-K-S

Las relaciones entre el boro, por una parte y el fósforo, potasio y azufre, por otra, están menos aclaradas que en el caso del nitrógeno. En algunos trabajos se afirma que se obtienen concentraciones altas de boro, en plantas a las que se han aplicado dosis elevadas de potasio (REEVE y SHIVE, 1943 y 1944) y en otros, justamente lo contrario (NUSBAUM, 1947; YAMAGUCHI y col.,

1958) y las discrepancias aumentan cuando se hacen intervenir otros nutrientes asociados (N, K, P, S) (REEVE y SHIVE, 1944; NUSBAUM, 1947; TANAKA, 1967a; BUBDINE y GUZMAN, 1969; STOYANOV, 1971; KAR y MOTIRAMANI, 1976; GUPTA, 1979). Algún trabajo más reciente (GUPTA, 1979) confirma la tendencia hacia una disminución de la concentración del boro cuando se aplica potasio. Es posible afirmar, como resumen, que la no coincidencia entre los resultados obtenidos por los diferentes autores, puede deberse a la variabilidad de las plantas -- utilizadas en los respectivos ensayos.

#### B-Ca

Los primeros trabajos sobre la influencia del boro en la nutrición de las plantas, en relación con otros nutrientes, establecían que el boro actúa sobre la absorción y utilización del calcio (BRENCHLEY y WARINGTON, 1927). Plantas de *Vicia faba* cultivadas en solución hidropónica carente en boro y con nivel deficiente de calcio, presentaban síntomas de deficiencia en calcio que se aliviaron considerablemente al añadir boro. Según REHM (1937), el boro hacía aumentar la absorción de nutrientes catiónicos (K, Ca, Mg) en plantas de *Impatiens balsámica*. La importancia de la relación B/Ca se ha destacado repetidamente (BURSTRÖM, 1939; DRAKE y col., 1941; CHADLER, 1944; JONES y SCARSETH, 1944; REEVE y SHIVE, 1944; McILRATH y BRUYIN, 1956; --

GUPTA, 1972a; BEAUCHAMP y HUSSAIN, 1974), estudiando esta relación bajo diferentes ángulos y utilizándose muy diversas plantas (cebada, nabo, tomate, etc.). Ultimamente, no faltan autores (GUPTA y McLEOD, 1977; GUPTA, 1979) que estudian dicha relación haciendo intervenir otros factores - tales como la presencia de magnesio o los aniones ligados al calcio y al magnesio.

#### B-micronutrientes

Parece ser que el boro influye de forma positiva en la absorción de otros micronutrientes (HENDERSON y VEAL, - 1948; BUKHAREVA, 1960; BAMBERGS, 1964) y que existen sinergismos entre en boro y el manganeso (HENDERSON y VEAL, 1948) y entre el boro y el cobre (BAKER y col., 1956; BAMBERGS, - 1964). La deficiencia de boro hace disminuir el nivel de - manganeso y cinc y eleva el del hierro en hojas de algodón (BROWN y col., 1958). Niveles tóxicos de boro disminuyen - el contenido de hierro y cobre en distintos órganos de la planta (GOPAL, 1975). También se afirma que en presencia - de grandes cantidades de hierro, disminuyen las necesida-- des de boro (SHKOL'NIK, 1955).



#### 1.6.4. Síntomas visuales de su deficiencia

La sintomatología de la deficiencia de boro, en diversas especies vegetales, se encuentra recogida en varias revisiones bibliográficas (STILES, 1958; WALLACE, 1961; - HEWITT, 1963; PURVIS y CAROLUS, 1964a; ISHIZUKA, 1978; TAK KAR y RANDHAWA, 1978; GUPTA, 1979).

El primer síntoma de la deficiencia de boro aparece ligado a un crecimiento anormal y retardado de los puntos de crecimiento apicales. Las plantas así afectadas presentan un carácter arbustivo (JOHNSTON y DORE, 1929). Las hojas más jóvenes exhiben malformaciones, se arrugan y a menudo se vuelven más gruesas y de color azul-verde oscuro (WARINGTON, 1940; LÖHNIS, 1950). La coloración de las hojas marca una gama que va desde los tonos oscuros en las dicotiledóneas (HEWITT, 1946) a las pálidas hojas albinas, en las monocotiledóneas. Las hojas y tallos se vuelven frágiles, indicando que ocurren perturbaciones en la transpiración. Según avanza la deficiencia, los puntos de crecimiento terminales mueren y la planta completa se reduce, restringiéndose totalmente la formación de flores (WITTINGTON, 1957).

La secuencia de la deficiencia de boro en el girasol, utilizado por nosotros como planta indicadora, está



descrita por JIMENEZ (1974): ligera clorosis en las hojas terminales que se va acentuando según avanza la deficiencia, aparición de una pigmentación de color marrón en las hojas enfermas que acaba extendiéndose a todas las demás, deformación (arrugamiento) de las hojas que se vuelven marchitas y con falta de succulencia, aparición en las hojas terminales de una especie de fieltro blanco que se va oscureciendo, deformación de todo el ápice de la planta y finalmente necrosis de las hojas.

Como el boro interviene en la germinación de los tubos polínicos (JOHRI y VASIL, 1961), las plantas deficientes en este elemento acusan perturbaciones en la germinación y la formación del fruto se deteriora (VASIL, 1964; GÄRTEL, 1974; BLAMEY, 1976). La deficiencia de boro también afecta al desarrollo de la raíz (ODHNOFF 1957; WHITTINGTON, 1959b; BUSSLER, 1960; HEALES, 1960; ALBERT y WILSON, 1961) cuyos ápices radiculares, en situaciones extremas, se necrosan.

El desarrollo de superficies escamosas y la formación de capas suberificadas, tanto externas como internas, son manifestaciones típicas de la deficiencia de boro en muchas plantas, como el tomate (PURVIS y CAROLUS, 1964b; SHORROCKS, 1974; INDEN, 1975), la coliflor (HAWORTH 1952; PURVIS y CAROLUS, 1964; MEHROTRA y MISRA, 1974; BERGMANN, 1976), cítricos y manzanos. La suberificación

puede estar relacionada con la asociación del boro a ciertas sustancias pécticas de las paredes celulares.



#### 1.6.5. Plantas indicadoras de la deficiencia del boro

En relación con este elemento parece ser que el girasol es la especie vegetal más comúnmente empleada como planta indicadora, desde hace ya mucho tiempo (COLWELL, 1943). Diversos autores la han utilizado en sus trabajos (JACKSON y CHAPMAN, 1975; BLAMEY, 1975; ADAMS y col., 1975; KROSING, 1978; ROBINSON, 1978; TAKKAR y RANDHAWA, 1978; BUSSLER y DOERING, 1979), aunque en la bibliografía aparecen otras plantas utilizadas como indicadoras: alfalfa (MELSTED y col., 1969; SIMPSON y LIPSETT, 1973; MEYER y MARTIN, 1976; TAKKAR y RANDHAWA, 1978) debido al hecho de que su raíz se desarrolla pobremente en los suelos con bajo contenido en boro, caña de azúcar (ESPIRONELO y col., 1976), remolacha azucarera (WALLACE, -- 1961; GUPTA, 1971; HILLS y ULRICH, 1976; HOANG y col., 1979), y coliflor (WALLACE, 1961; MELSTED y col., 1969; GUPTA y CUTCLIFFE, 1973; SIMPSON y LIPSETT, 1973; GUPTA y CUTCLIFFE, 1975; MEYER y MARTIN, 1976; TAKKAR y RANDHAWA, 1978).



## 2. PARTE EXPERIMENTAL



## 2.1. Análisis de los suelos





### 2.1.1. Características de los suelos utilizados

El trabajo se ha llevado a cabo sobre 12 suelos de la provincia de Granada, cuya localización geográfica, clasificación (FAO/UNESCO, 1973), textura (Soil Conservation Service, 1972) y cultivo actual son los que figuran en la Tabla I.

Los datos analíticos correspondientes a la granulación (BOUYOUCOS, 1951) de los suelos aparecen en la Tabla II.

Los relativos a su fertilidad (METODOS ANALITICOS ESTACION EXPERIMENTAL DEL ZAIDIN, 1969), figuran en la Tabla III.

Las muestras de todos los suelos, que corresponden a la capa arable de los mismos, fueron recogidas en la misma época y antes de someterlas a los distintos análisis, proceder a su extracción química y utilizarlas en los experimentos de cultivo en macetas, se procedió a su secado en estufa de aire forzado (30°C), desmenuza-

miento con rodillo de madera, tamizado a través de una malla de 2 mm de  $\emptyset$  y almacenamiento en bolsas de plástico.

Tabla I

<u>Suelo</u>	<u>Localidad</u>	<u>Clasificación</u>
1	Fuente Vaqueros	Fluvisol calcáreo
2	Marchena	Fluvisol calcáreo (cono de deyección)
3	Pampaneira	Cambisol eútrico
4	El Padul	Luvisol crómico
5	Maitena	Luvisol órtico
6	Zujaira	Regosol calcáreo
7	Illora	Cambisol cálcico (spf)
8	Pinos Puente	Vertisol pélico
9	Venta del Fraile	Cambisol cálcico
10	El Padul	Cambisol cálcico
11	La Malá	Regosol calcáreo yesoso
12	Pinos Puente	Fluvisol calcáreo

<u>Textura</u>	<u>Cultivo</u>
Franco-limoso	Barbecho
Franco	Olivar
Franco-arenoso	Hortalizas
Franco-arcilloso	Cebada
Franco-limoso	Trigo
Arcilloso	Lavanda
Franco-arcilloso	Olivar
Arcilloso	Barbecho
Franco	Almendro
Franco-arcilloso	Almendro
Arcilloso	Olivar
Arcilloso	Maíz

Tabla II

<u>Suelo</u>	<u>Arena %</u>	<u>Limo %</u>	<u>Arcilla %</u>
1	23,4	56,0	20,6
2	46,4	44,0	9,6
3	59,4	26,0	14,6
4	41,4	28,0	30,6
5	17,2	66,2	16,6
6	23,2	28,2	48,6
7	27,4	34,6	38,0
8	13,2	23,6	63,2
9	43,2	42,2	14,6
10	27,8	43,8	28,4
11	17,8	27,8	54,4
12	17,8	33,8	48,4

Tabla III

<u>Suelo</u>	<u>pH</u>	<u>Materia orgánica%</u>	<u>N (mg/100g)</u>	<u>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg/100g</u>
1	7,8	1,47	119,7	25,29
2	8,15	1,85	117,6	36,53
3	7,1	4,37	274,4	91,79
4	7,25	1,13	68,6	5,62
5	5,45	1,85	114,8	4,68
6	7,6	1,25	66,5	29,03
7	7,75	1,34	85,4	16,86
8	7,6	0,76	73,5	12,17
9	7,6	1,53	91,0	12,17
10	7,8	2,14	114,8	14,98
11	7,5	1,12	94,5	23,42
12	7,9	2,46	165,9	44,12

<u>K<sub>2</sub>O</u> (mg/100g)	<u>CO<sub>3</sub>Ca%</u> (equiv.)	<u>CO<sub>3</sub>Ca%</u> (activo)	<u>CEC</u> (meq/100g)
28,75	27,00	5,47	9,3
5,00	88,13	0,56	3,0
28,75	0,00	0,56	13,9
10,00	0,00	0,62	13,4
12,5	0,00	0,12	5,2
15,00	70,25	16,04	12,9
25,00	58,25	14,74	17,2
68,75	32,25	13,13	26,6
16,25	49,75	13,56	7,3
20,00	26,50	5,16	18,4
23,75	47,75	15,61	20,3
130,00	34,00	11,63	15,0



Se ha efectuado, con las doce muestras de suelo, un análisis mineralógico de la composición global por difracción de rayos X (BRINDLEY y BROWN, 1980). Este análisis es semicuantitativo ya que sólo tiene en cuenta el material cristalino y no el amorfo (geles). No se eliminó la materia orgánica. Los resultados se exponen en la Tabla IV.

Así mismo, se llevó a cabo un análisis mineralógico de las fracciones inferiores a  $2 \mu$  por el método del agregado orientado, solvatado con etilen-glicol, (BRINDLEY y BROWN, 1980), eliminando previamente la materia orgánica y los carbonatos. El tanto por ciento de los distintos minerales de la arcilla presentes en los suelos, aparecen en la Tabla V.

Tabla IV

Composición mineralógica global

<u>Suelo</u>	<u>Filosilicatos %</u>	<u>Cuarzo %</u>	<u>Plagioclasas %</u>	<u>Calcita %</u>	<u>Dolomita%</u>	<u>Feldesp.K %</u>
1	33	31	3	10	23	0
2	13	7	0	1	78	0
3	55	31	14	0	0	0
4	59	38	2	0	0	1
5	57	37	6	0	0	0
6	28	4	0	67	0	0
7	43	10	0	48	0	0
8	63	7	2	27	1	0
9	36	24	2	3	35	0
10	40	26	2	11	21	0
11	55	5	0	40	0	0
12	61	11	1	23	4	0

Tabla V  
Análisis mineralógico de la fracción  
(A.O + E.G)

<u>Suelo</u>	<u>Arcilla %</u>	<u>Montmorillonita %</u>	<u>Ilita %</u>
1	20,6	10,3	7,62
2	9,6	2,02	5,95
3	14,6	1,17	8,76
4	30,6	1,84	24,79
5	16,6	1,66	12,12
6	48,6	15,07	25,27
7	38,0	27,74	7,6
8	63,2	34,8	24,02
9	14,6	1,61	9,64
10	28,4	5,68	16,19
11	54,4	35,36	15,78
12	48,4	10,65	30,98

inferior a 2  $\mu$

<u>Paragonita %</u>	<u>Clorita %</u>	<u>Caolinita %</u>
0,41	1,03	1,24
0,38	0,58	0,67
0,58	2,19	1,90
0,61	0,61	2,75
1,49	0,66	0,66
0,00	1,94	6,32
0,00	0,76	1,9
0,00	3,16	1,26
0,58	1,46	1,31
0,00	4,26	2,27
0,54	0,54	2,18
0,48	3,39	2,90

## 2.2. Extracción Química



### 2.2.1. Extractantes utilizados

La extracción química de los suelos se llevó a cabo siguiendo el esquema que se expone en el siguiente cuadro:

<u>Extractante</u>	<u>Tiempo de extracción (minutos)</u>	<u>Relación suelo/ extractante (g/ml)</u>
1	60	10/100
2	60	10/100
3	60	10/100
4	60	10/100
5	30	10/20
6	60	10/50
7	60	10/20
8	120	10/20
9	60	10/50
10	60	10/100

Los extractantes que hemos utilizado en este trabajo, el tiempo de extracción y la relación suelo/extractante, vienen, en parte, impuestos por lo que hemos encontrado en la bibliografía sobre el tema, de la que ya hemos dado cuenta. Hemos tenido presente para la elec--



ción de los extractantes que íbamos a utilizar, para fijar los tiempos de extracción y para establecer la relación suelo/extractante, en cada caso, los siguientes condicionantes: 1ª) La variabilidad de los suelos sobre los que se ha trabajado. 2ª) La determinación si multánea, en los extractos, de cinco microelementos. - 3ª) La diversidad de la información recopilada sobre el tema. Con estos precedentes hemos fijado nuestras propias condiciones para la extracción y por lo que -- respecta a los extractantes finalmente elegidos, hemos seguido el criterio de utilizar los más frecuentemente citados en la bibliografía, y aquellos otros cuya recomendación, por autores acreditados, ha sido más reciente.

La preparación de los extractantes es la siguiente:

1. Acido acético al 2,5%. pH 2,5  
25 mL de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  glacial, R.A., se llevan a 1 litro con agua destilada, ajustando el pH con  $\text{NH}_4\text{OH}$ .
2. Solución Morgan  
Se disuelven 100 g de  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , R.A. en 500 mL de agua destilada, se añaden 300 mL de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  glacial, R.A. y se lleva el volumen final a 1 litro. El pH resultó 4,8.
3. Acetato amónico 1N, pH 7,0  
Se disuelven 77 g de  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  R.A. en agua y se lle



va finalmente al volumen de 1 litro, ajustando el pH con  $\text{CH}_3\text{COOH}$  y/o  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

4.  $\text{ClH}$  0,1N.

Pasar a un matraz aforado de 1 litro, 8,33 mL de  $\text{ClH}$  concentrado R.A., densidad 1,18.

5. EDTA 0,01M más carbonato amónico 1M.

2,92 g de EDTA R.A., se disuelven en agua por un lado y a continuación, en la misma solución, 114,11g de  $\text{CO}_3(\text{NH}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  R.A., completando el volumen final a 1 litro. El pH resultante es 8,6.

6. Acetato amónico 0,5N más ácido acético 0,5N más EDTA 0,02M. pH 4,65.

Disolver 38,5 g de  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  R.A. en agua, añadir a esta solución 25 mL de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  glacial R.A. y finalmente se disuelven en esta solución 5,845 g de EDTA R.A., completando con agua a 1 litro y ajustando el pH a 4,65 con  $\text{CH}_3\text{COOH}$  y/o  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

7. Bicarbonato amónico 1M más DTPA 0,005M. pH 7,6.

1,97 g de DTPA se disuelven en aproximadamente 800 mL de agua destilada, añadiendo seguidamente a esta solución, 2 mL de  $\text{NH}_4\text{OH}$  1:1. Por otra parte se disuelven en agua 79,06 g de  $\text{CO}_3\text{HNNH}_4$  R.A.. Se unen las dos soluciones y se llevan a un volumen final de 1 litro, ajustando el pH indicado con  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

8. DTPA 0,005M más cloruro cálcico 0,01M más trietanolamina 0,1M. pH 7,3.

1,97g de DTPA, 1,47g de  $\text{Cl}_2\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  R.A. y 13,25 mL de trietanolamina se disuelven en 1 L de agua ajustando el pH con  $\text{ClH}$  concentrado.

9. Es el mismo extractante anterior. Se procede con él de forma distinta que con el n° 8, ya que cambian el tiempo de extracción y la relación suelo/extractante, según se indica en el cuadro que figura al principio de este capítulo.
10. Oxalato amónico 0,2M. pH 3,0.  
Se disuelven 28,424 g de  $\text{COO}(\text{NH}_4)_2$  R.A. en agua destilada y se lleva el volumen final a 1 litro, ajustando el pH con ácido oxálico 0,2M.

### 2.2.2. Técnica operatoria de la extracción

La extracción se llevó a cabo, en frascos de plástico de 250 mL, manteniendo las condiciones de tiempo de extracción y la relación suelo/extractante, en cada caso, que se han indicado en el cuadro correspondiente.

La extracción se realizó, por agitación, en un -- agitador de vaivén.

Una vez terminada la extracción, se filtró (embudo de plástico) el contenido de cada frasco a través de -- papel de filtro de pliegues (Albet, n<sup>o</sup> 240) que había sido tratado, previamente, con ClH 1:1 caliente y sucesivos lavados con agua destilada hasta pH neutro, eliminando por este procedimiento las posibles contaminaciones de microelementos del papel de filtro.

Los filtrados se recogieron en frascos de polietileno de 200 mL, procediéndose seguidamente al análisis químico de los extractos.

La utilización de material de plástico (frascos, -- embudos, etc.) impide la posible contaminación de boro que tendría lugar si se hubiera utilizado material de vidrio.

La extracción de cada suelo, con cada uno de los 10 extractantes utilizados, se realizó por quintuplicado.

### 2.2.3. Análisis químico de los extractos

La determinación analítica de los cinco microelementos objeto de nuestro estudio, en los extractos obtenidos según la metodología reseñada en el capítulo 2.2.2., se llevó a cabo de la siguiente forma:

- 1ª Para los microelementos Cu, Fe, Mn y Zn, se procedió a la lectura directa de los extractos, - previa dilución correspondiente, si era necesario, en un espectrofotómetro de Absorción Atómica, Perkin-Elmer, modelo 503. Se utilizó el propio extractante, en cada caso, para efectuar las diluciones y para la preparación de las curvas de calibrado.
- 2ª La estimación del boro se llevó a cabo, en cada extracto, mediante la determinación colorimétrica del complejo B-Azometina-H (WOLF, 1971), recurriendo, en caso necesario, a la decoloración previa del extracto con carbón activo, anteriormente tratado con  $\text{ClO}_4\text{H}$  para eliminar cualquier posible contaminación.



### 2.3. Extracción biológica





### 2.3.1. Experimentos en el invernadero

La extracción biológica de los suelos consiste en utilizar las plantas como agentes extractantes. Cultivando determinadas plantas sobre un suelo, en macetas, recolectando éstas y analizándolas finalmente nos permitió conocer qué cantidad de cada uno de los microelementos estudiados había sido absorbida por las plantas.

Se montó un experimento, con macetas, para cada uno de los microelementos, objeto de nuestro estudio. Cada experimento constaba de 60 macetas (12 suelos por 5 repeticiones). Las macetas de plástico, troncocónicas, tenían las siguientes dimensiones: 13 y 12 cm de diámetro superior e inferior, respectivamente y 6 cm de altura. Cada maceta se preparó de la siguiente forma: Sobre una mezcla homogénea de 25 g de suelo y 100 g de arena, se añadieron 75 g más de arena. Una vez colocadas las plántulas correspondientes, se añadieron 300 g de arena, solución nutritiva y agua. Cada maceta se pesó y se mantuvo este peso constante, con solución nutritiva y agua destilada, durante el tiempo que duró el cultivo.

En cada maceta se plantaron 25 plántulas, según la relación número de plantas/ g de suelo, que se sigue en el método de McGEORGE (1946).

Las plantas utilizadas en los cinco experimentos se indican en el siguiente cuadro:

Experimento	Microelemento estudiado	Planta indicadora
1	Cobre	Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L. var. Pallas)
2	Hierro	Judía ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L. var. Contender)
3	Manganeso	Tomate ( <i>Lycopersicum esculentum</i> Mill. var. VF-428)
4	Cinc	Maíz ( <i>Zea mays</i> L. var. Pioner)
5	Boro	Girasol ( <i>Helianthus annuus</i> Mill. var. HK)

Las plántulas se obtuvieron, en cada caso, a partir de semilleros preparados en bandejas de polietileno con arena de cuarzo lavada. Toda la arena utilizada en semilleros y en macetas correspondía a una granulometría de 2 mm.

Las semillas correspondientes a cada experimento, - imbibidas previamente, se distribuyeron adecuadamente - en las bandejas, añadiendo la cantidad de agua destilada necesaria (JUSTICE, 1952) y se colocaron en una estufa de germinación donde permanecieron hasta que las ---

plántulas alcanzaron un determinado tamaño (2-4 cm). Durante el periodo de germinación se mantuvo el grado de humedad de la arena, constante, añadiendo solución nutritiva diluida 1/3. Dicha solución era, básicamente la misma para los cinco ensayos. Variaba en cada caso por carecer de un microelemento, esto es, en el ensayo correspondiente al hierro, la solución carecía de hierro, en el ensayo correspondiente al cobre, carecía de cobre, etc. La preparación de las respectivas soluciones, utilizadas en cada caso, tanto en los semilleros, como en los ensayos con macetas, respondía al planteamiento inicial de nuestro trabajo que, repetimos, consistía en que la planta utilizara como única fuente de provisión para cada microelemento, los 25 g de suelo incorporados a cada maceta. La adición de solución nutritiva a semilleros y macetas, tenía por objeto el -- que la planta dispusiera de una alimentación equilibrada en todos los demás macro y micronutrientes, actuando exclusivamente, como factor limitante, un microelemento en cada caso. En cada uno de los experimentos, a lo largo del cultivo, la aparición de síntomas de deficiencia visual del microelemento en cuestión nos iba a servir de referencia para indicarnos que las plantas correspondientes a cada suelo habían extraído todo el microelemento presente en los 25 g de suelo. En ese momento, procedíamos a la recolección de las plantas crecidas sobre ese suelo.

La solución nutritiva completa, cuyo pH fluctuaba sobre  $4,7 \pm 0,1$ , habría correspondido al siguiente esquema (STEINER, 1961) :

	meq/litro				ppm				
	Ca	K	Mg	Total	Fe	Cu	Mn	Zn	B
$\text{NO}_3^-$	10			10	4	0,05	0,5	0,05	0,5
$\text{PO}_4\text{H}_2^-$		4		4					
$\text{SO}_4^{=}$			2	2					
Total	10	4	2	16					

Una vez plantadas las plántulas en las macetas correspondientes, se dispusieron éstas sobre una mesa del invernadero, termostatzado, siguiendo un diseño de bloques al azar. Las condiciones del invernadero fueron las siguientes:

Temperatura: 23-27°C

Fotoperíodo: 16 horas de luz y 8 de oscuridad, con un sistema automatizado.

Intensidad de la luz: 8000 lux. La fuente de iluminación consistía en una pantalla provista de 30 tubos fluorescentes de 40 W. La mitad de ellos "luz día" (6500°K) y el resto "luz blanca" - (3500°K). Además, esta fuente de iluminación estaba complementada con 2 lámparas de "luz mezcla" de 160 W (que tenían la finalidad de incrementar el espectro en las longitudes de onda correspondientes al rojo e infrarrojo).

Durante el tiempo de duración de cada ensayo se fue cambiando diariamente la posición relativa de las macetas con objeto de eliminar los efectos de borde y se -- agregaron, también diariamente, a cada maceta, 50 mL de solución nutritiva y agua destilada, si era preciso, pa-- ra mantener constante el peso inicial de la misma (HUD-- SON, 1957).

En el siguiente cuadro aparecen reseñados los días que duró cada cultivo en los distintos suelos estudiados, correspondientes a los cinco experimentos realizados:

Suelos	Cu Cebada	Fe Judía	Mn Tomate	Zn Maíz	B Girasol
1	61	46	55	44	60
2	63	46	65	70	80
3	59	46	65	116	88
4	61	66	43	104	43
5	33	78	43	99	40
6	65	51	22	99	74
7	65	63	65	69	52
8	70	46	65	93	85
9	61	71	43	85	45
10	67	73	55	77	68
11	67	68	55	78	54
12	67	43	36	128	88

### 2.3.2. Recolección de las plantas

En cada uno de los cinco experimentos con macetas, en el momento del cultivo en que eran ostensibles los síntomas visuales de deficiencia (fotos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10) en las cinco macetas correspondientes a un de terminado suelo, se recolectaron las plantas de dichas macetas, separando la parte aérea y la raíz.

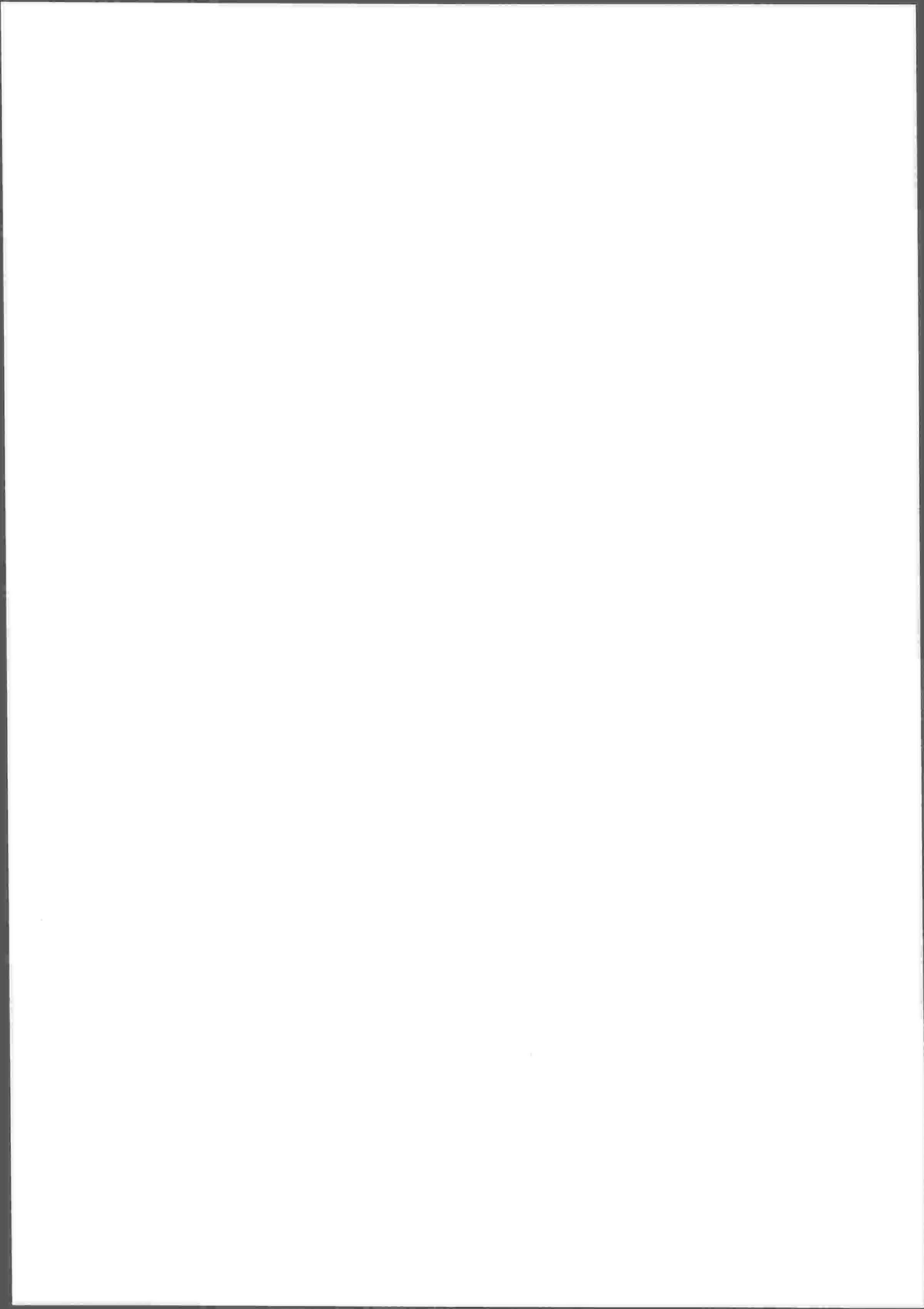
Las raíces se sometieron a un lavado con agua para limpiarlas del suelo y la arena adheridos a ellas. La duración del lavado no excedió nunca de 30 segundos, - con objeto de minimizar la posible elución de componentes solubles del tejido radicular.

Inmediatamente después de haberse recolectado las plantas, se secaron éstas en una estufa de aire forzado, a 75° C, durante 24 horas. A continuación se determinó el peso seco correspondiente a parte del material vegetal en un molinillo de plástico (LACHICA, 1967). - El polvo vegetal así obtenido, fino y homogéneo, se almacenó en bolsas de plástico etiquetadas.



Foto N<sup>o</sup> 1. Iniciación de la deficiencia de cobre (planta de cebada).







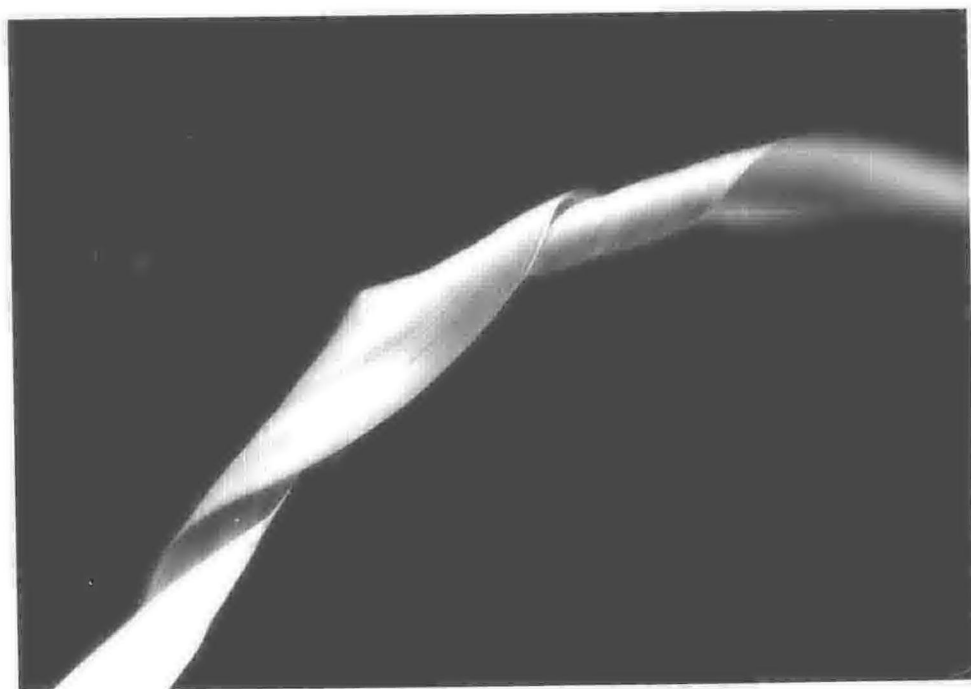


Foto Nº 2. Deficiencia acusada de cobre  
(planta de cebada).





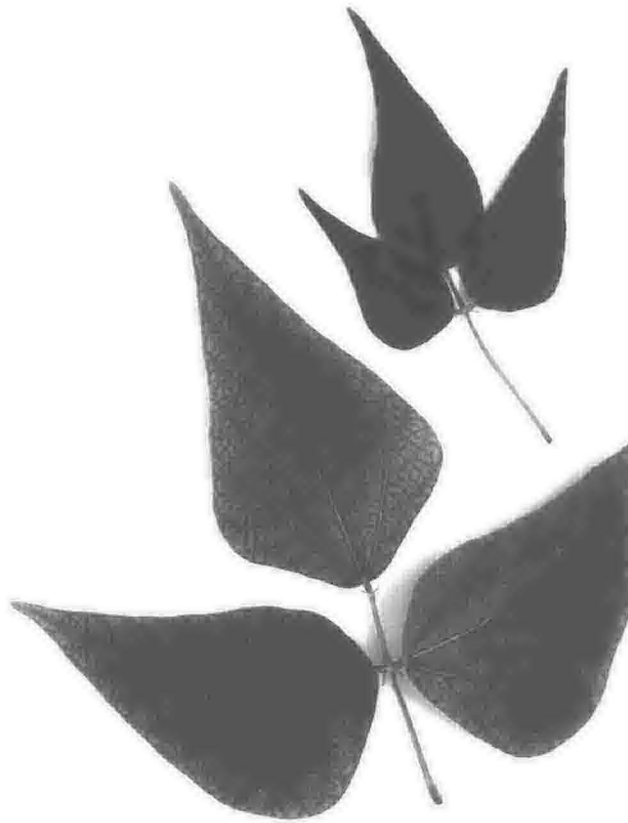
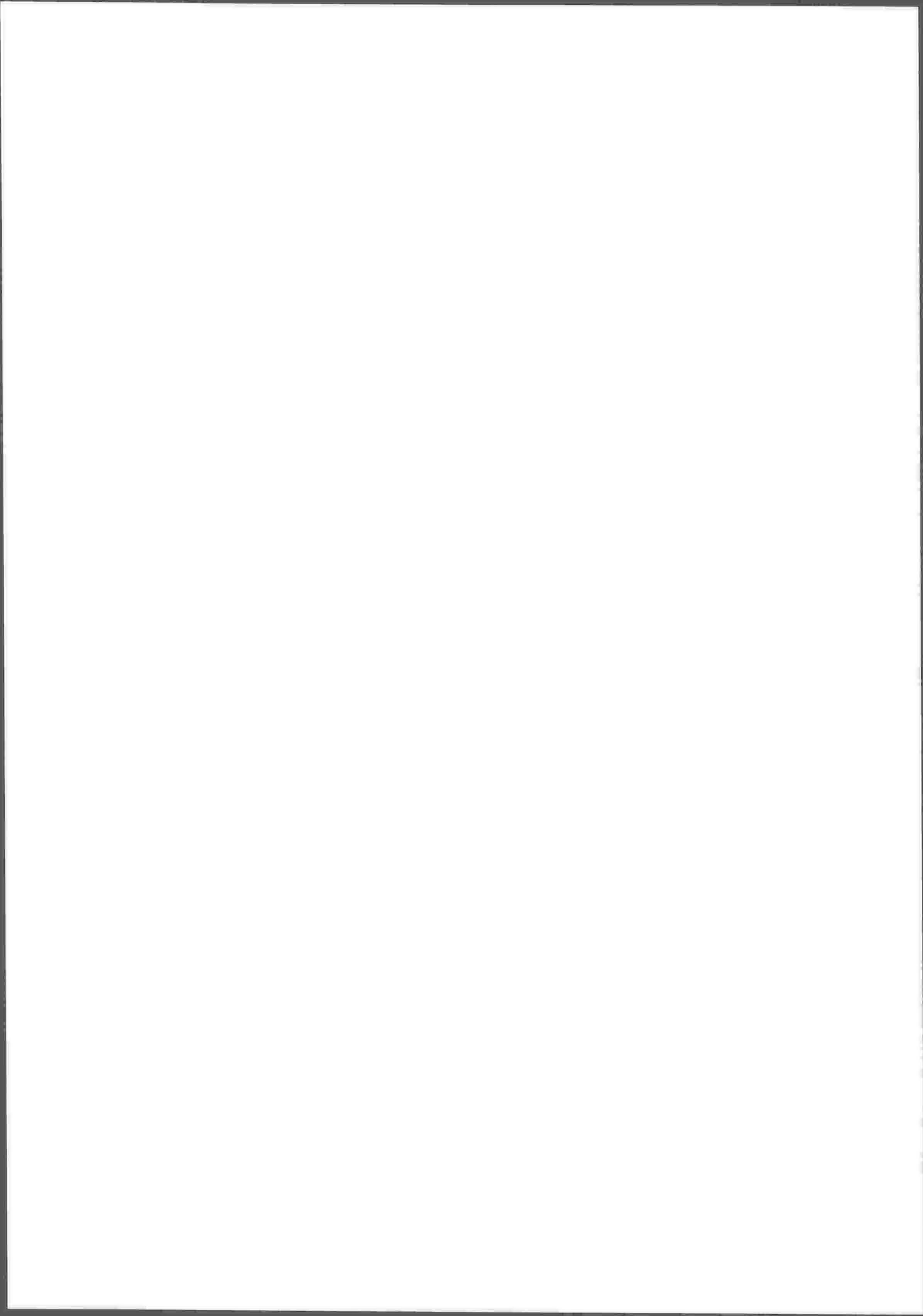


Foto N<sup>o</sup> 3. Iniciación de la deficiencia  
de hierro (planta de judía).





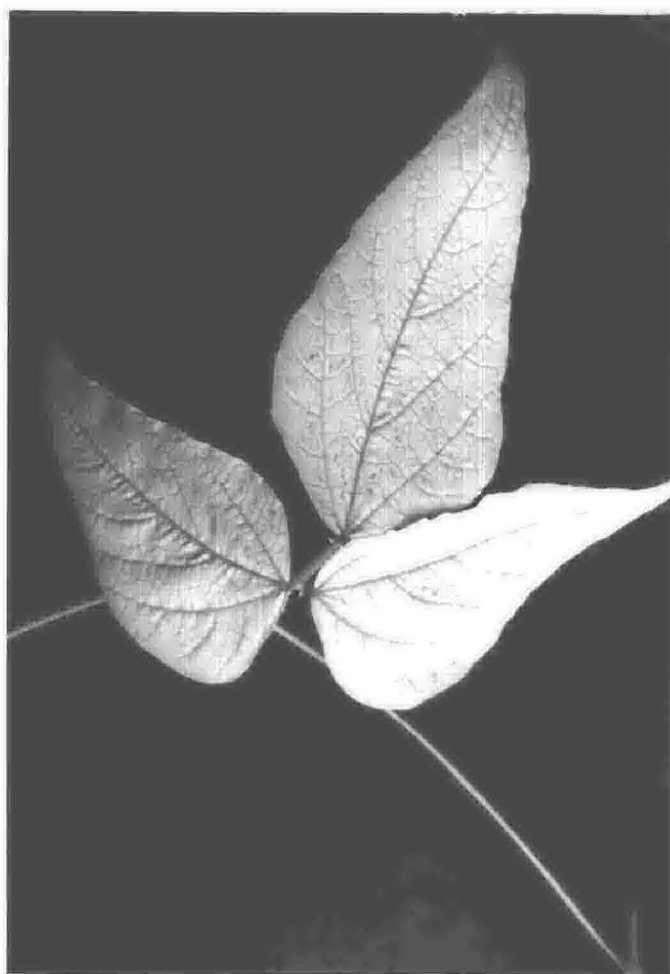


Foto N<sup>o</sup> 4. Deficiencia acusada de hierro  
(planta de judía).

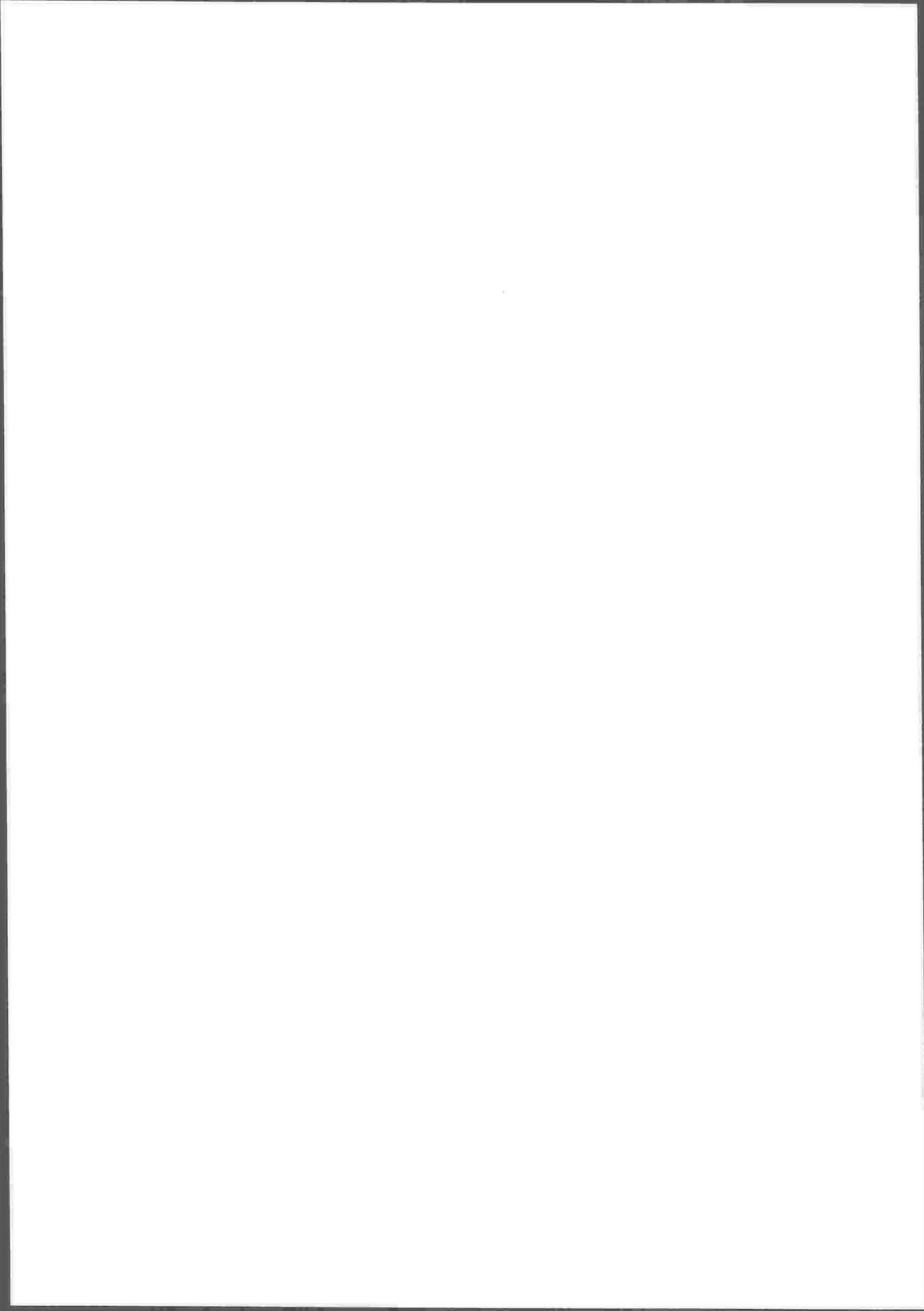




Foto N<sup>o</sup> 5. Iniciación de la deficiencia de manganeso (planta de tomate).

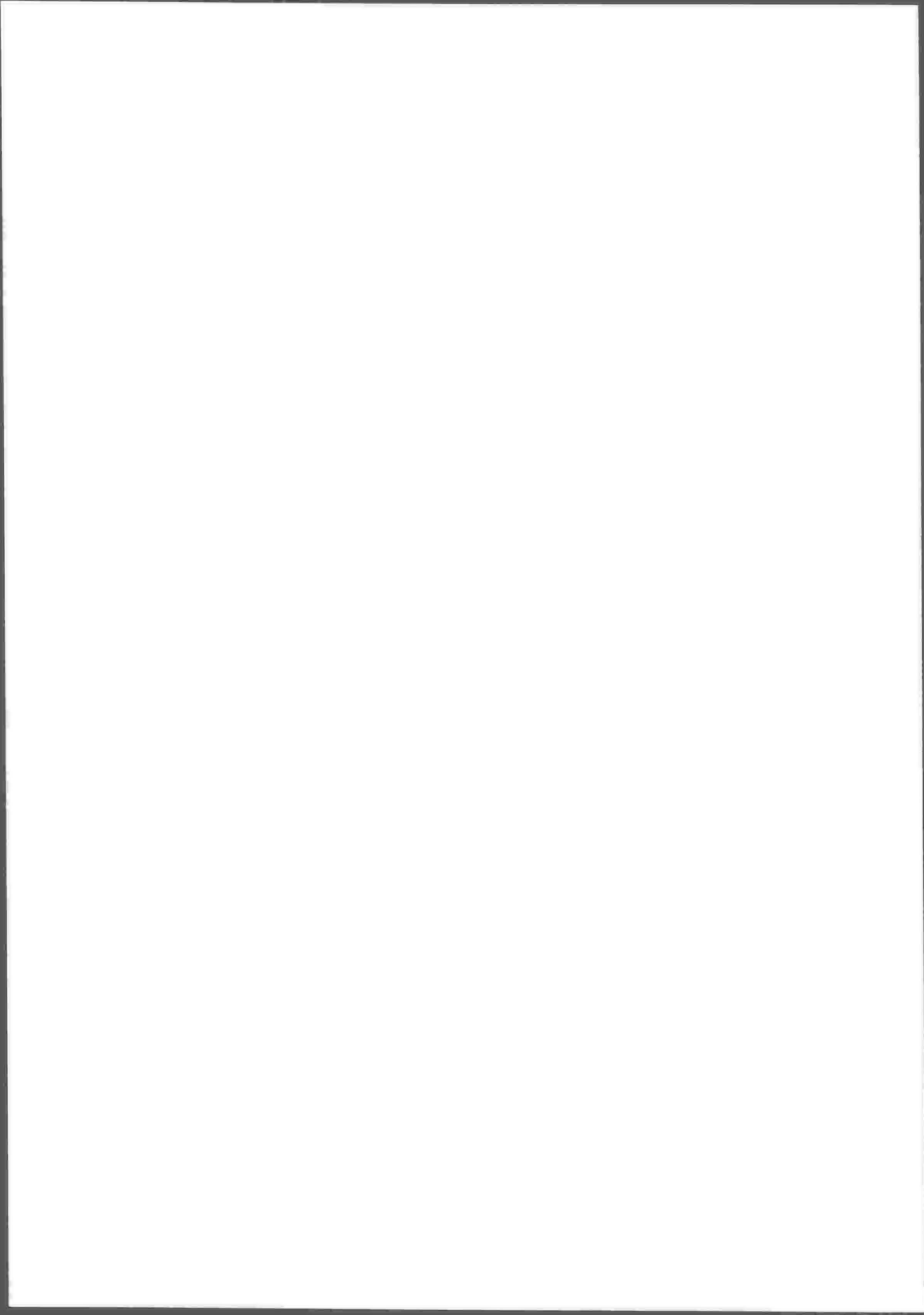
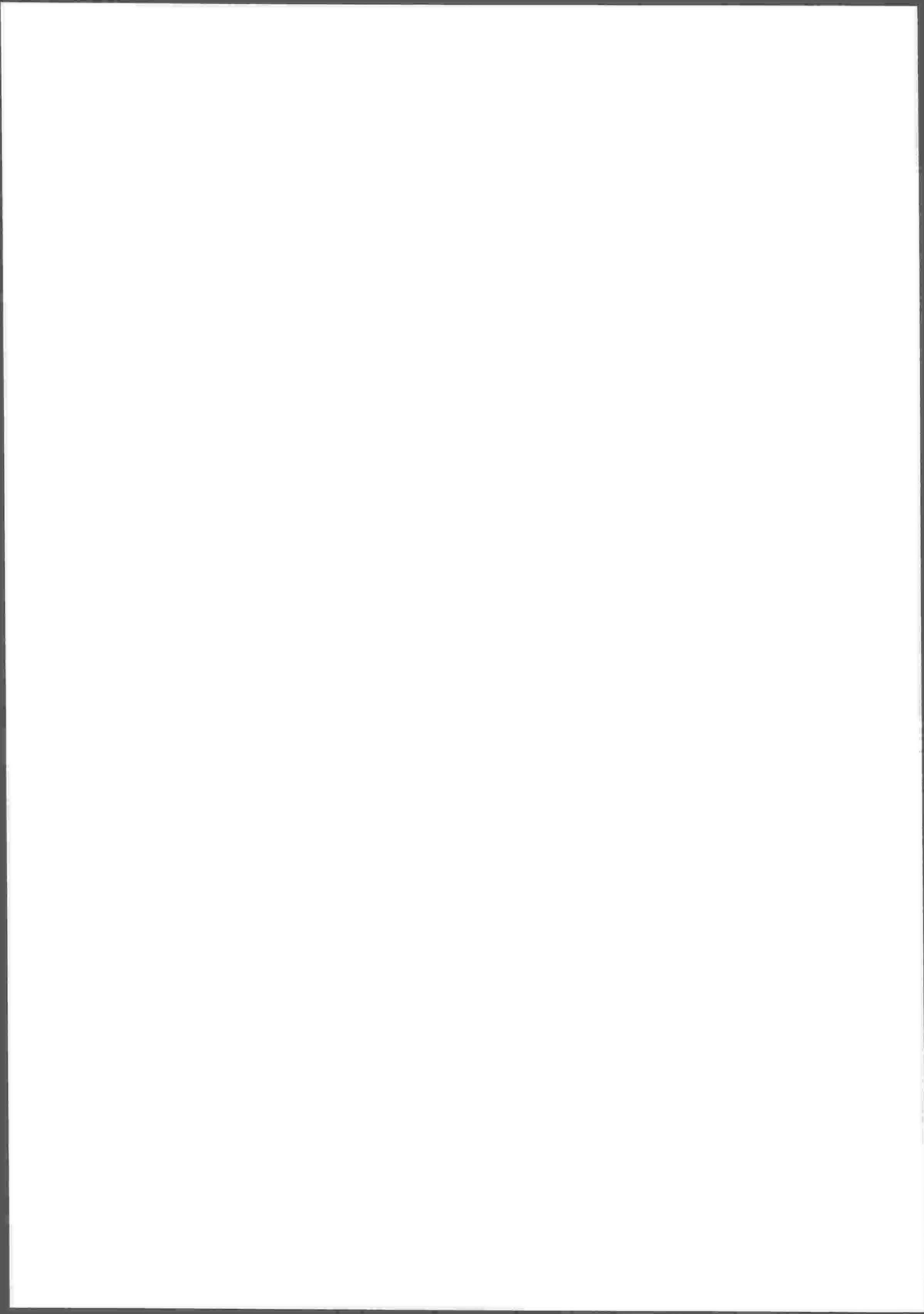






Foto N<sup>o</sup> 6. Deficiencia acusada de manganeso  
(planta de tomate).





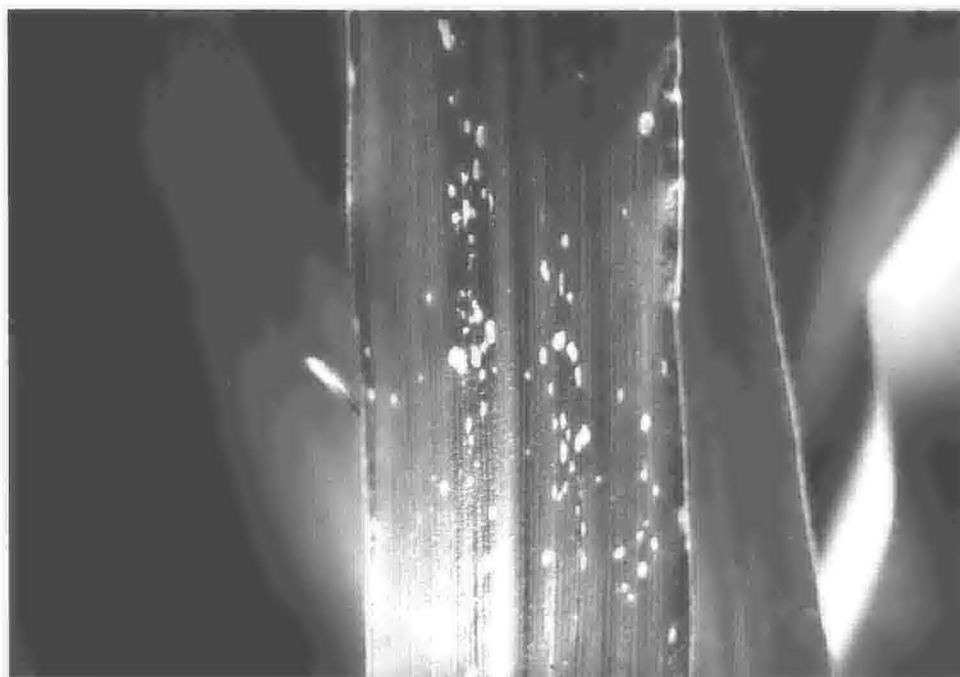
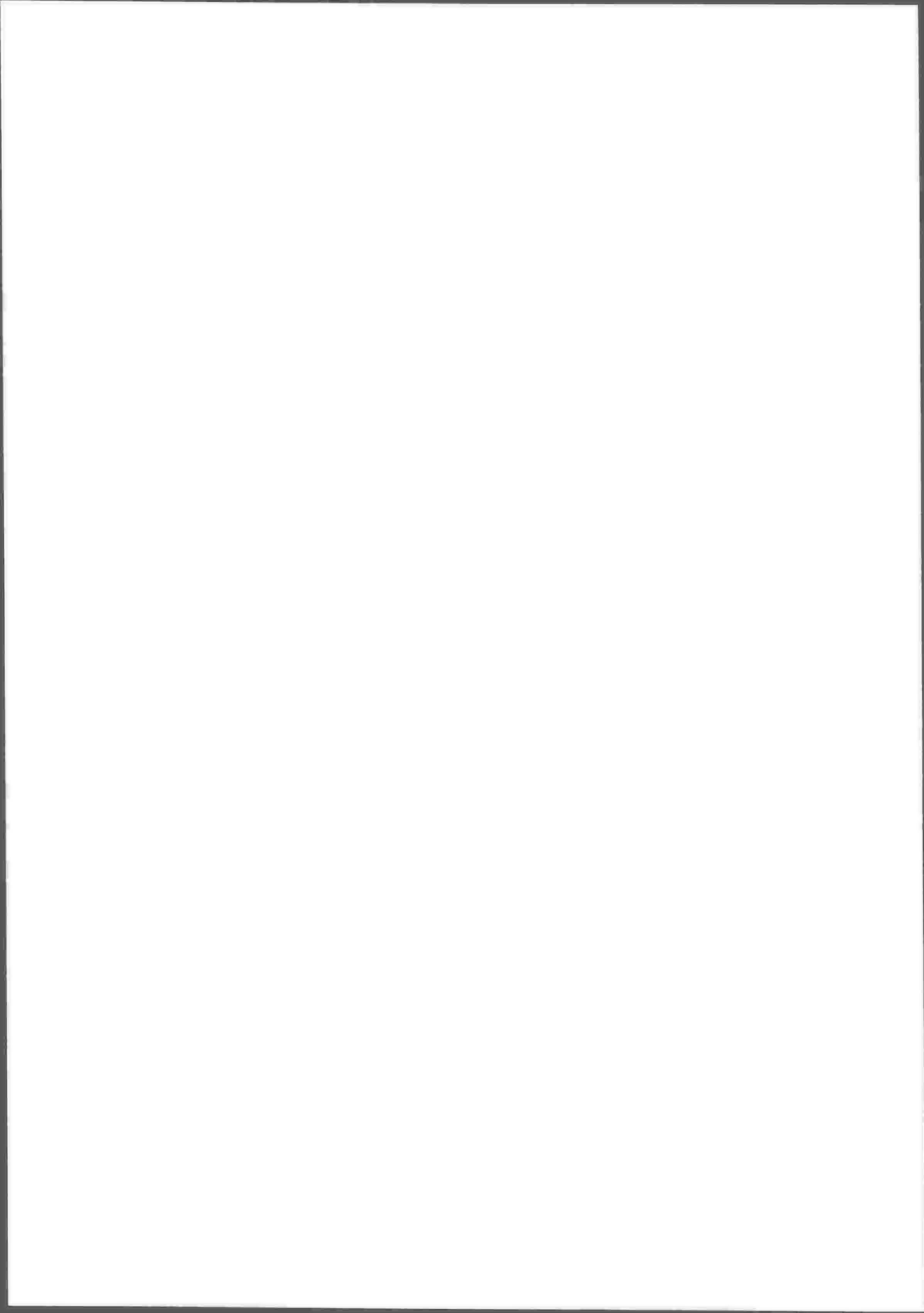


Foto N<sup>o</sup> 7. Iniciación de la deficiencia de cinc (planta de maíz).





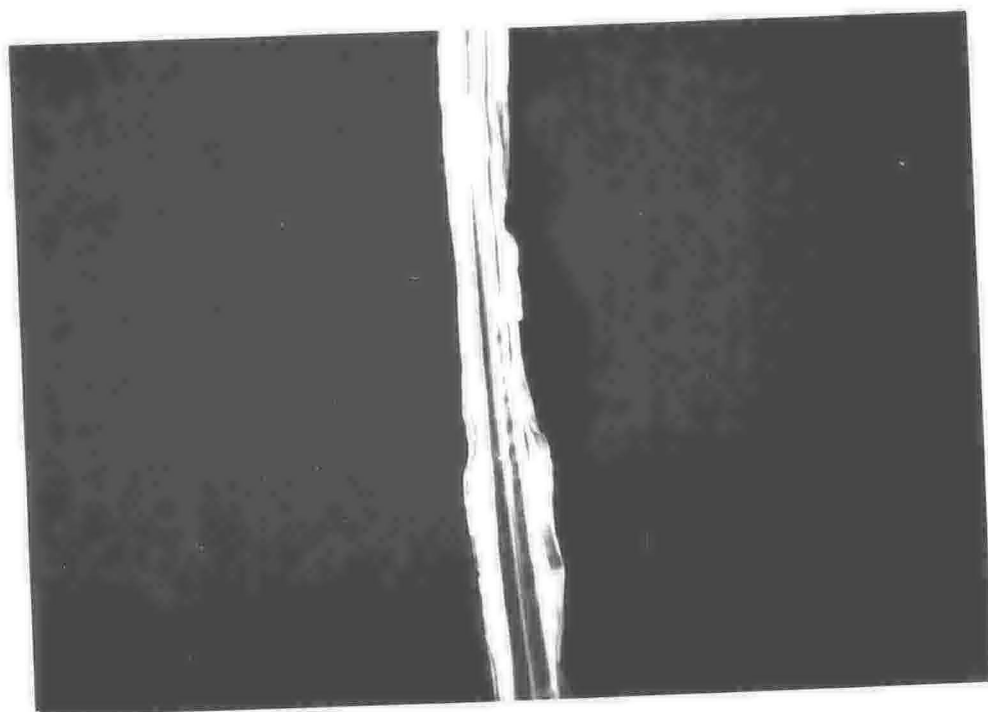
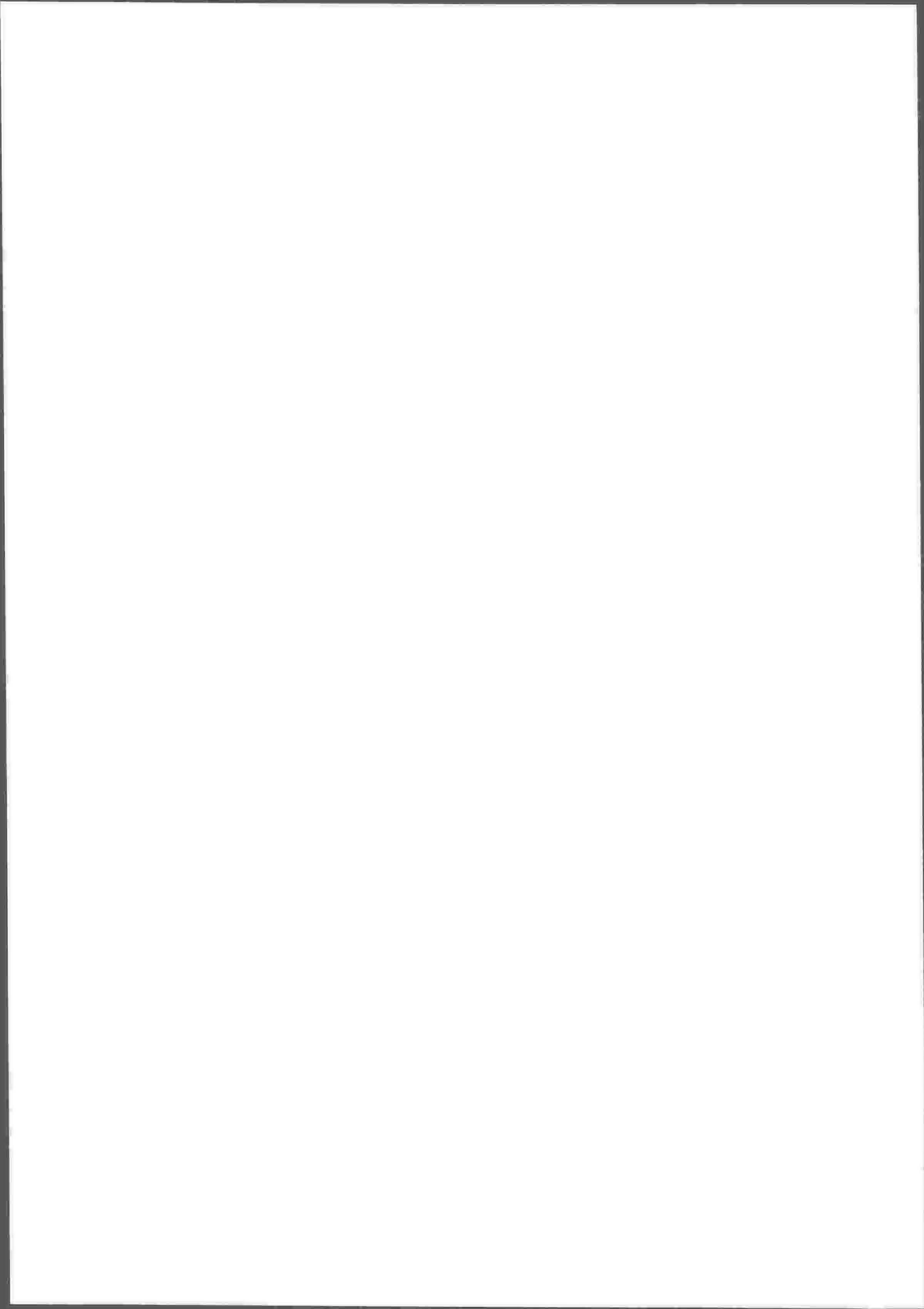


Foto N<sup>o</sup> 8. Deficiencia acusada de cinc  
(planta de maíz).





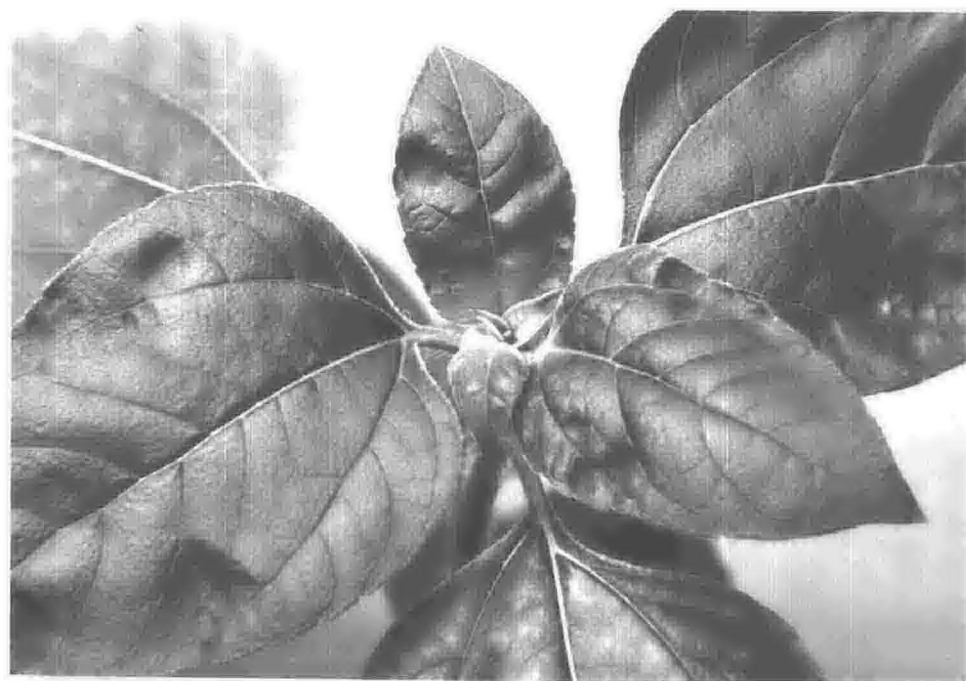


Foto N° 9. Iniciación de la deficiencia de boro (planta de girasol).



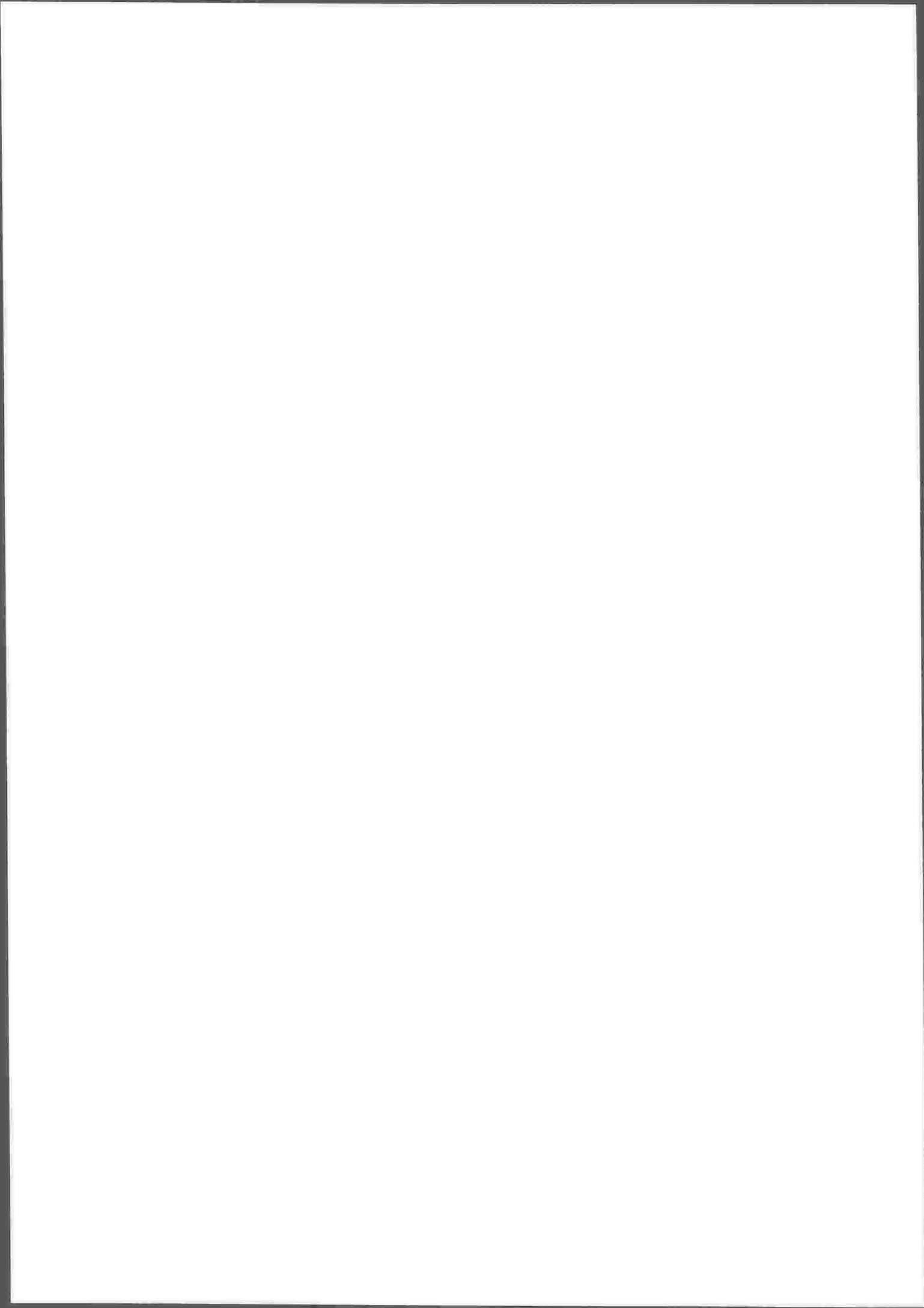
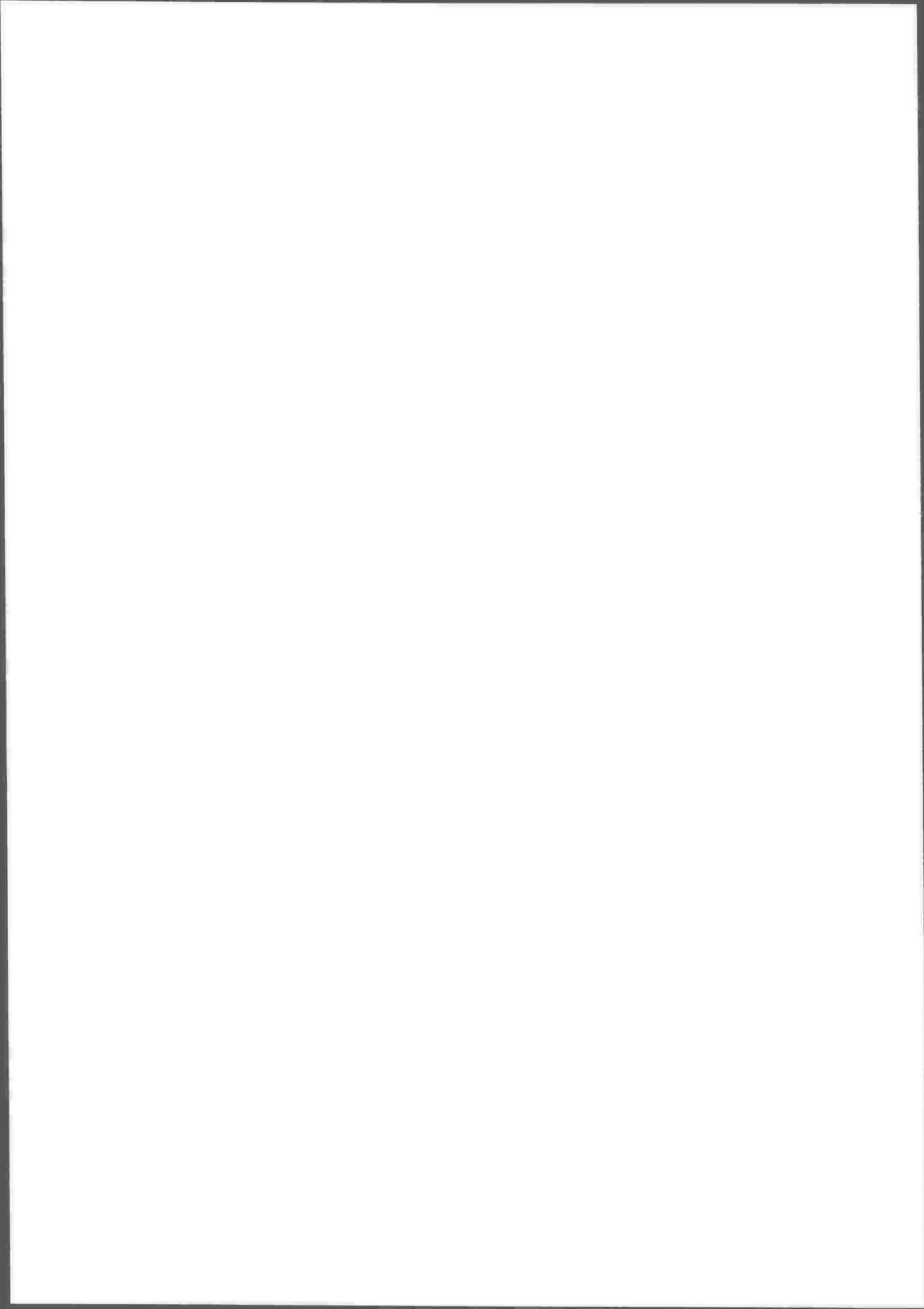






Foto N<sup>o</sup> 10. Deficiencia acusada de boro  
(planta de girasol).





### 2.3.3. Análisis químico de las plantas

La determinación analítica de los microelementos cobre, hierro, manganeso y cinc en el material vegetal obtenido en los distintos cultivos, comportó las siguientes fases:

1. Calcinación del material vegetal, a 450°C.
2. Digestión de las cenizas obtenidas con ácido clorhídrico.
3. Obtención de un mineralizado.

Finalmente, se sometió este mineralizado clorhídrico a la espectrofotometría de Absorción Atómica.

Todo este proceso analítico se realizó siguiendo la metodología recomendada por el C.I.I. (1973), utilizando un espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer, mod. 503.

La determinación analítica del boro se llevó a cabo siguiendo el método de LACHICA (1976) que es una modificación del método original de WOLF (1971) que pre-

coniza la utilización del reactivo Azometina-H y la -  
posterior determinación colorimétrica del complejo form  
mado Azometina-boro. Se utilizó un espectrofotómetro  
de Absorción Molecular Spectronic-88.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION



### 3.1. Extracción Química





Los resultados correspondientes a cada uno de los cinco micronutrientes estudiados, determinados analíticamente en los diferentes extractos obtenidos por la aplicación de los diez extractantes utilizados, en los doce suelos, objeto de nuestro estudio, figuran en la Tablas VI, VII, VIII, IX y X. Tanto en las mencionadas tablas, como en las sucesivas, los valores numéricos correspondientes a las filas codificadas como a, b, c, d y e representan repeticiones .

Tabla VI

Cobre ( $\mu\text{g}/25$  g de suelo)

Suelo

Extractantes

	1	2	3	4	5	6
1 a	43	39	14	17	133	105
b	43	39	14	17	136	102
c	37	39	14	17	133	102
d	37	39	14	17	137	99
e	37	39	14	17	134	102
2 a	12	11	7	17	52	54
b	12	11	7	17	50	54
c	12	11	7	17	53	54
d	12	11	7	17	53	51
e	12	11	7	17	55	54
3 a	12	17	14	138	183	280
b	12	17	14	138	188	289
c	12	17	14	138	181	289
d	12	17	14	138	175	292
e	12	17	14	138	178	283

7	8	9	10
150	58	63	217
157	53	59	231
159	53	59	204
161	53	59	245
155	55	59	258
64	14	20	82
66	14	20	82
66	16	20	82
64	14	20	82
64	14	20	82
297	90	94	435
297	94	90	462
297	91	98	476
273	102	90	462
305	101	102	476

Suelo

	1	2	3	4
4 a	0	0	0	55
b	0	0	0	55
c	0	0	0	50
d	0	0	0	50
e	0	0	0	50
5 a	12	11	7	55
b	12	11	7	50
c	12	11	7	50
d	12	11	7	50
e	12	11	7	50
6 a	55	39	7	11
b	49	44	7	11
c	49	44	7	16
d	49	39	7	11
e	49	39	7	16

Tabla VI (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
55	60	64	20	23	122
55	57	64	19	23	109
54	57	63	20	23	122
57	57	62	19	23	109
55	57	63	19	23	109
66	44	71	33	39	95
63	41	68	34	39	95
65	41	68	33	39	82
68	41	68	36	39	109
68	44	68	35	39	95
58	48	66	20	23	41
58	48	66	20	23	41
55	48	68	19	23	41
58	48	68	20	27	41
57	51	66	20	27	41

Suelo

	1	2	3	4
7 a	55	44	7	17
b	55	44	7	17
c	55	44	7	17
d	55	44	7	17
e	55	44	7	17
8 a	55	66	0	17
b	55	61	0	17
c	49	61	0	17
d	55	61	0	17
e	49	66	0	17
9 a	6	17	0	11
b	6	17	0	11
c	6	17	0	11
d	6	17	0	11
e	6	17	0	11

Tabla VI (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
134	98	174	55	66	177
134	92	176	52	66	163
132	95	170	55	70	177
131	95	168	53	70	177
131	95	171	55	66	163
165	127	250	82	105	177
171	124	250	82	105	177
172	130	242	87	109	217
175	127	258	87	109	190
172	127	250	85	109	190
46	48	55	13	23	109
45	48	57	13	23	95
46	50	57	14	20	95
45	44	57	13	23	95
45	44	57	14	20	95

Suelo

		1	2	3	4
10	a	31	33	0	17
	b	31	33	0	17
	c	31	33	0	17
	d	31	39	0	17
	e	31	39	0	17
11	a	49	50	7	17
	b	49	50	7	17
	c	49	50	7	17
	d	49	50	7	17
	e	49	50	7	17
12	a	62	66	14	17
	b	68	66	14	17
	c	62	66	14	17
	d	62	66	14	17
	e	62	66	14	17



Tabla VI (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
89	67	113	25	35	163
91	70	113	25	35	163
89	70	118	25	35	163
91	67	118	25	35	163
91	70	117	26	35	163
91	73	114	39	51	82
89	70	114	39	51	68
93	70	116	40	51	68
88	70	118	40	51	68
90	73	116	39	51	68
237	168	359	123	141	299
241	172	328	120	145	272
239	168	359	120	141	285
238	168	328	112	145	313
249	172	344	114	145	313

Tabla VII

Hierro ( $\mu\text{g}/25$  g de suelo)

Suelo		Extractantes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	a	339	523	30	91	207	1922	781	200	182	14489
	b	355	531	20	91	221	1859	760	200	188	13637
	c	339	523	20	91	199	1969	771	193	193	14489
	d	347	523	20	91	222	1984	710	193	193	13068
	e	339	516	30	80	199	1891	750	202	199	14205
2	a	73	47	39	80	199	656	448	114	99	4546
	b	73	47	39	80	191	625	458	116	94	4830
	c	73	39	39	80	218	656	521	111	94	4546
	d	81	39	39	68	199	625	448	111	105	4262
	e	73	39	39	57	210	688	427	107	99	4830
3	a	89	102	59	2353	669	8375	2292	727	629	63923
	b	97	102	59	2426	772	8500	2292	818	585	62502
	c	97	86	49	2500	743	8250	2187	773	618	61082
	d	89	102	49	2426	691	8375	1979	795	590	62502
	e	97	102	49	2426	647	8188	1979	750	601	68184

Suelo

	1	2	3	4
4 a	32	16	69	659
b	32	16	59	614
c	40	16	59	568
d	32	31	59	614
e	32	16	59	625
5 a	56	234	49	1193
b	65	250	49	1193
c	56	234	49	1227
d	65	250	49	1228
e	65	250	49	1136
6 a	97	156	39	57
b	105	164	49	57
c	105	156	39	57
d	105	164	49	68
e	97	164	39	68

Tabla VII (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
32	875	244	116	83	16194
34	844	255	114	77	16620
35	828	252	111	83	16194
47	844	239	111	88	15341
38	875	226	111	94	17046
3309	1594	3229	1614	1213	26990
3162	1672	2708	1545	1324	25569
3162	1641	2812	1591	1324	25569
3456	1703	2500	1545	1324	28410
3309	1672	2604	1477	1213	29831
32	359	133	73	61	426
35	313	122	61	55	398
34	375	120	61	66	398
34	344	125	64	66	369
44	344	128	68	66	341

Suelo

		1	2	3	4
7	a	121	266	39	68
	b	113	258	39	68
	c	121	266	39	68
	d	113	266	39	57
	e	121	273	39	68
8	a	97	250	59	57
	b	97	250	49	57
	c	97	258	49	57
	d	89	242	59	57
	e	89	258	49	57
9	a	40	23	49	11
	b	48	23	39	11
	c	48	23	39	23
	d	40	23	39	23
	e	40	23	39	23

Tabla VII (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
49	689	179	70	72	2557
50	672	179	68	77	2557
50	672	179	70	77	1989
51	719	162	68	88	2841
54	688	183	68	88	2273
24	1406	167	61	88	2841
24	1344	173	61	88	2557
28	1391	168	64	88	3693
29	1422	176	64	88	3409
28	1406	168	66	88	3125
106	391	218	77	72	6818
109	391	231	75	83	6250
110	375	221	77	72	5966
115	375	242	73	77	7103
104	359	244	54	72	6534

Suelo

	1	2	3	4
10 a	65	78	39	80
b	73	78	49	80
c	65	78	39	102
d	73	94	39	80
e	73	78	49	102
11 a	81	148	49	91
b	81	156	49	91
c	97	156	39	102
d	81	148	49	102
e	97	141	49	91
12 a	161	344	39	114
b	177	351	39	102
c	169	359	39	102
d	177	352	30	91
e	177	352	30	102



Tabla VII (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
75	313	242	80	83	10228
75	266	234	75	88	11080
79	328	255	80	83	10228
76	297	250	77	88	9944
74	297	245	77	94	9659
25	469	103	52	61	909
24	438	101	59	66	909
25	422	107	57	61	881
22	438	109	52	61	909
26	453	107	57	61	852
153	2031	771	318	414	15341
146	1875	792	341	430	15341
146	1969	875	389	425	14773
150	1938	729	364	419	14205
160	1938	813	386	419	14205



Suelo	Manganeso (ug/25			
	1	2	3	4
1 a	1875	3150	85	978
b	1838	3150	73	978
c	1875	3150	79	946
d	1763	3255	73	995
e	1763	3185	91	995
2 a	1931	419	60	848
b	1931	416	60	832
c	1931	419	60	815
d	1913	423	67	832
e	1950	423	60	815
3 a	2794	1330	163	8687
b	2831	1295	169	8530
c	2850	1295	163	8883
d	2775	1295	163	8843
e	2738	1330	163	9157

Tabla VIII  
g de suelo)  
Extractantes

5	6	7	8	9	10
254	3351	269	147	193	3733
237	3072	284	147	182	3617
225	3191	303	148	190	3383
233	3231	308	148	182	3150
216	3191	284	147	190	3383
420	1636	524	205	199	564
416	1636	529	187	199	575
500	1626	577	214	207	552
433	1626	519	201	193	564
454	1666	490	187	199	610
1707	22916	2115	1071	887	51360
1623	24374	2067	1107	735	48971
1748	24582	1971	1089	861	49569
1790	25832	1779	1152	912	43597
1748	24582	1971	1071	937	47777

Tabla VIII (continuación)

Suelo		Extractantes									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	a	503	278	24	2870	246	14999	495	522	456	20902
	b	499	265	18	2804	212	14999	495	482	443	17319
	c	514	272	18	2641	221	14895	495	509	456	16722
	d	495	268	24	2739	225	14791	486	518	507	19111
	e	514	273	18	2674	237	14791	486	522	481	19708
5	a	2906	2800	2329	3913	3996	5426	3269	3214	2939	11347
	b	2869	2800	2298	3815	3621	5386	3798	3303	2990	12542
	c	2794	2730	2298	3946	3580	5545	3798	3125	2939	12542
	d	2906	2765	2237	3946	3788	5785	4711	3125	2838	11347
	e	2869	2800	2238	3880	3996	5505	3269	3035	2888	11347
6	a	1444	963	18	156	107	828	226	105	113	265
	b	1425	893	24	146	108	758	163	107	108	265
	c	1500	928	18	149	112	798	163	107	113	265
	d	1500	910	24	156	99	778	173	105	110	230
	e	1536	962	18	163	104	768	197	106	113	230

Suelo

		1	2	3	4
7	a	4613	3080	24	562
	b	4575	3080	24	542
	c	4650	3115	24	500
	d	4538	3045	30	517
	e	4575	3115	30	500
8	a	8055	5985	18	521
	b	8370	5915	12	535
	c	8280	5915	12	531
	d	8370	5950	18	528
	e	8325	5880	12	521
9	a	664	409	36	667
	b	653	406	36	712
	c	626	388	36	687
	d	634	375	42	656
	e	641	388	30	653

Tabla VIII (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
119	1596	231	97	154	2100
128	1666	255	101	152	1867
138	1686	236	97	157	2217
136	1686	236	97	152	2217
135	1646	260	98	160	2333
46	4707	114	96	204	3500
43	4628	110	93	182	3033
53	4668	121	97	201	3733
50	4588	122	97	201	3733
54	4588	123	96	201	3267
333	3710	462	205	292	3500
350	3710	490	210	295	3267
370	3670	423	192	298	3617
408	3870	452	241	292	3383
379	3670	471	237	287	3033

Suelo

		1	2	3	4
10	a	956	560	24	226
	b	919	574	24	187
	c	919	574	18	191
	d	919	557	18	212
	e	938	553	18	194
11	a	3113	2135	30	347
	b	3150	2170	36	344
	c	3094	2135	30	330
	d	3131	2170	30	309
	e	3225	2205	36	309
12	a	5063	3990	30	521
	b	4990	3955	30	507
	c	5025	3990	30	500
	d	5027	3815	36	507
	e	5175	3850	36	500

Tabla VIII (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
379	1606	452	240	295	6883
350	1566	442	210	298	6767
358	1556	462	246	292	7000
370	1486	471	237	284	6883
321	1506	452	258	290	6883
95	1346	226	133	188	992
94	1356	226	130	176	1050
110	1326	240	131	182	933
106	1316	240	128	179	933
111	1376	226	128	168	1050
78	2952	109	83	174	3383
71	2892	113	86	168	3267
72	2912	119	87	174	3267
79	2892	99	81	168	3033
86	2932	109	84	171	3150

Tabla IX

Cinc (µg/25 g de suelo)

Suelo

Extractantes

	1	2	3	4	5	6
1 a	127	127	10	29	91	235
b	127	128	5	28	84	231
c	129	121	7	28	89	206
d	123	127	5	28	91	202
e	127	128	7	27	85	218
2 a	110	73	3	51	84	157
b	110	73	5	49	77	165
c	109	71	3	47	89	152
d	112	70	5	48	89	140
e	109	75	3	48	87	161
3 a	1063	729	43	1938	1329	2578
b	1042	718	47	1925	1342	2461
c	1049	729	45	1825	1266	2383
d	1056	750	43	1825	1278	2383
e	1049	739	43	1925	1304	2305



7	8	9	10
129	68	85	131
134	64	82	131
116	61	85	131
111	64	84	219
113	68	85	175
118	43	68	118
127	44	69	127
177	45	71	105
127	43	70	105
114	43	71	118
1393	893	842	2450
1750	929	781	2511
1500	875	904	2573
1625	911	822	2389
1518	964	853	2818

Suelo

	1	2	3	4
4 a	25	16	5	65
b	24	17	5	65
c	23	16	3	61
d	24	16	3	56
e	24	15	7	63
5 a	34	12	3	47
b	34	12	7	45
c	31	12	5	47
d	30	15	5	51
e	37	13	3	49
6 a	30	23	5	32
b	24	23	5	32
c	21	23	3	31
d	21	21	3	32
e	27	19	2	33

Tabla IX (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
26	40	40	16	26	74
31	40	39	13	26	61
26	36	41	13	26	48
27	36	41	14	28	48
26	37	40	15	27	57
28	19	40	18	30	39
27	20	40	18	28	26
28	21	38	18	28	35
30	21	38	19	30	35
29	21	40	18	31	40
6	17	11	5	19	4
7	18	12	6	18	4
6	16	11	5	16	4
7	19	12	6	19	4
7	16	12	6	18	4

Suelo

	1	2	3	4
7 a	37	35	2	37
b	38	35	2	37
c	38	36	2	40
d	38	35	3	41
e	41	35	2	45
8 a	35	18	3	45
b	37	18	5	45
c	34	16	5	47
d	35	21	3	44
e	33	19	7	47
9 a	30	16	8	48
b	30	13	5	47
c	31	13	8	48
d	33	13	7	48
e	30	18	5	49

Tabla IX (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
11	28	18	8	20	26
11	26	17	7	20	13
11	27	22	7	20	22
11	25	19	7	19	13
11	29	17	8	18	22
19	35	31	8	23	26
18	35	31	10	24	31
20	34	30	10	24	31
20	35	32	10	23	22
19	35	32	10	22	26
27	45	42	15	27	70
28	46	43	15	28	66
27	45	42	15	26	79
27	43	43	15	28	74
26	41	43	14	28	66

Suelo

	1	2	3	4
10 a	35	24	5	16
b	37	24	7	17
c	33	24	7	20
d	35	24	7	19
e	35	25	10	21
11 a	31	18	8	16
b	28	19	8	13
c	28	18	7	16
d	25	21	5	16
e	27	19	8	17
12 a	458	675	53	31
b	472	664	57	31
c	472	475	53	24
d	458	654	57	27
e	444	686	58	31

Tabla IX (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
32	58	50	17	31	101
32	55	49	15	28	118
31	57	50	15	31	109
32	59	51	16	27	114
32	59	50	17	28	101
8	21	14	5	13	0
8	21	15	5	14	0
8	20	14	5	12	0
7	19	15	5	14	0
8	21	15	5	13	0
747	1071	893	461	483	963
709	1113	982	457	514	919
696	1121	911	486	493	1006
646	1129	930	496	514	963
671	1129	839	504	503	1050

Tabla X

Suelo	Boro (µg/25 g de suelo)									
	Extractantes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 a	50	47	10	28	108	34	108	119	29	63
b	50	42	10	28	108	34	111	119	34	69
c	50	42	10	28	108	34	108	109	34	69
d	50	42	10	28	111	34	108	119	29	63
e	50	42	14	28	108	34	108	109	29	63
2 a	33	33	10	28	169	32	140	116	15	38
b	33	33	14	28	169	32	140	106	15	38
c	33	33	10	28	172	32	147	113	15	31
d	33	33	14	28	169	32	147	113	12	31
e	33	33	14	28	172	32	147	119	15	31
3 a	56	52	24	56	191	37	153	131	24	75
b	56	52	19	61	201	37	158	128	22	69
c	56	56	24	56	197	37	156	128	24	75
d	72	56	24	56	194	37	153	128	24	75
e	61	52	19	61	201	37	153	125	22	75



Suelo

		1	2	3	4
4	a	11	5	0	14
	b	11	5	0	14
	c	11	5	0	14
	d	11	5	0	14
	e	11	5	0	14
5	a	0	9	5	5
	b	0	9	5	5
	c	0	9	5	5
	d	0	9	5	9
	e	0	9	5	9
6	a	39	28	0	9
	b	33	33	0	9
	c	38	28	0	9
	d	39	28	0	9
	e	39	28	0	9

Tabla X (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
102	2	102	103	5	19
102	2	102	103	5	19
105	2	99	103	5	13
102	2	99	100	5	13
102	2	99	97	5	13
159	7	134	122	0	13
156	7	134	119	0	13
156	9	134	122	0	19
156	7	134	119	0	19
159	7	134	119	0	19
102	15	96	113	7	6
105	15	96	113	7	6
105	15	99	116	7	6
102	15	99	113	5	6
102	15	99	113	7	12

Suelo

		1	2	3	4
7	a	33	28	5	9
	b	33	28	5	9
	c	33	28	5	9
	d	33	33	5	14
	e	33	28	10	9
8	a	39	23	5	14
	b	39	23	5	14
	c	39	23	5	14
	d	39	23	5	14
	e	33	23	4	19
9	a	33	19	5	14
	b	39	19	5	19
	c	33	19	5	19
	d	33	19	5	19
	e	33	19	5	19

Tabla X (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
131	17	115	119	7	6
131	17	118	119	7	6
134	17	118	119	7	12
134	17	118	122	10	6
134	17	115	116	10	6
86	17	96	106	10	6
89	17	96	103	10	6
86	17	99	103	10	6
89	17	99	103	10	6
86	17	102	103	12	6
134	17	124	103	7	19
134	17	124	103	7	19
137	17	127	106	7	12
137	17	127	103	10	19
137	15	124	100	10	12

Suelo

		1	2	3	4
10	a	44	33	5	14
	b	44	33	10	19
	c	44	33	5	19
	d	44	38	5	19
	e	44	38	5	19
11	a	33	33	10	19
	b	33	28	5	14
	c	33	28	10	19
	d	33	28	10	19
	e	33	33	10	19
12	a	72	56	14	28
	b	72	56	14	28
	c	72	56	10	28
	d	72	61	14	28
	e	72	61	14	28

Tabla X (continuación)

Extractantes

5	6	7	8	9	10
147	17	124	100	10	31
150	20	124	106	10	31
150	20	127	100	10	31
150	20	127	103	10	38
147	20	127	100	7	31
105	17	108	106	10	6
105	17	105	109	10	6
115	17	105	109	10	13
115	17	105	106	12	13
105	17	108	103	12	13
121	44	115	113	27	50
121	44	115	113	27	50
124	44	118	113	27	44
121	42	115	113	27	44
124	42	115	109	27	44



### 3.2. Extracción Biológica





Se presentan en este capítulo las tablas con los resultados obtenidos del análisis químico de las plantas recolectadas en los cinco experimentos llevados a cabo en el invernadero. Aparecen en el siguiente orden:

1<sup>o</sup> Resultados correspondientes al peso seco de material vegetal obtenido: Tablas XI, XII, XIII, XIV y XV.

2<sup>o</sup> Concentración (ppm) de cada uno de los cinco microelementos estudiados: Tablas XVI, XVII, XVIII, XIX y XX.

3<sup>o</sup> Cantidad total de microelemento extraído por planta: Tablas XXI, XXII, XXIII, XXIV y XXV.

Estas últimas tablas se han confeccionado multiplicando los datos de materia seca por los de concentración, tanto los correspondientes a parte aérea, como a los de raíces, sumando ambos y obteniendo así la cantidad de microelemento total que la planta ha extraído de los 25 g de suelo que había en cada maceta.

Tabla XI  
 Cultivo: Cebada (*Hordeum vulgare*, L.)  
 materia seca (g)

Parte aérea	Suelos					
	1	2	3	4	5	6
a	1,87	1,66	1,67	1,70	0,65	1,47
b	1,64	2,02	1,51	1,18	0,48	1,70
c	1,50	0,90	0,59	1,35	0,34	2,00
d	1,67	1,95	1,12	1,29	0,34	1,76
e	1,99	1,58	1,69	1,77	0,42	1,88
Raíces						
a	1,14	1,03	0,80	1,16	0,86	1,13
b	0,95	1,50	0,74	0,63	0,36	0,69
c	0,91	1,70	0,58	0,71	0,35	1,45
d	1,04	1,59	1,20	0,88	0,31	0,97
e	1,07	1,36	0,74	1,18	0,34	1,72

Tabla XI

Parte aérea

	7	8
a	1,67	1,90
b	1,88	1,96
c	1,97	1,81
d	1,87	1,88
e	2,05	2,21

Raíces

a	0,87	0,70
b	0,72	0,89
c	1,15	0,54
d	0,95	0,61
e	1,16	1,25

(continuación)

Suelos

9	10	11	12
1,48	1,73	1,49	1,88
1,42	1,80	2,37	1,93
1,25	1,59	1,92	1,70
1,76	1,82	1,84	1,64
1,37	1,97	2,04	1,87
0,66	0,97	0,74	0,76
0,69	0,99	1,50	1,02
0,47	0,84	0,74	0,91
0,59	0,96	0,80	0,79
0,60	1,40	0,92	0,84

Tabla XII

Cultivo: Judía (*Phaseolus vulgaris* L.)

Parte aérea	materia seca (g)					
	Suelos					
	1	2	3	4	5	6
a	8,48	10,99	15,17	22,31	16,34	10,68
b	8,39	8,48	22,05	18,19	13,52	11,18
c	12,00	11,60	20,35	20,05	10,98	15,39
d	16,11	17,89	15,38	12,50	16,81	15,60
e	11,73	8,66	12,54	18,19	12,92	11,02
Raíces						
a	4,65	3,75	4,03	6,52	2,07	3,90
b	3,70	3,96	4,13	2,35	1,64	3,71
c	4,93	3,62	6,65	3,73	1,87	5,15
d	4,59	3,80	3,20	2,52	2,93	5,38
e	4,75	2,75	3,30	3,11	0,90	4,43

Tabla

Parte aérea

	7	8
a	14,49	10,13
b	12,89	9,71
c	16,66	12,91
d	13,00	9,81
e	18,24	12,67

Raíces

a	2,90	2,83
b	3,36	3,96
c	3,37	3,66
d	3,07	3,50
e	3,92	3,22

XII (continuación)

Suelos

9	10	11	12
13,98	12,79	11,43	13,29
11,48	13,89	11,61	11,13
12,93	17,35	11,83	12,82
14,99	17,26	10,47	8,37
12,97	12,86	9,91	7,89
2,37	1,99	2,23	4,26
2,38	2,78	2,13	4,27
4,25	3,71	1,62	4,07
2,61	2,33	2,10	5,08
2,64	1,93	1,13	3,89



Tabla XIII

Cultivo: Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.)

materia seca (g)

Parte aérea	Suelos					
	1	2	3	4	5	6
a	2,61	3,08	3,02	2,67	2,10	0,94
b	2,82	3,20	3,10	2,86	2,29	1,11
c	2,56	3,28	2,83	2,26	2,56	0,97
d	3,14	3,19	2,75	2,34	2,66	1,17
e	3,15	2,96	2,70	2,79	2,53	0,72
Raíces						
a	0,61	0,70	0,54	0,67	0,58	0,56
b	0,60	0,36	0,60	0,41	0,29	0,58
c	0,83	0,48	0,32	0,51	0,39	0,34
d	0,74	0,50	0,50	0,35	0,30	0,83
e	0,69	1,04	0,37	1,41	0,59	0,65

Tabla

Parte aérea

	7	8
a	3,09	3,91
b	3,16	3,42
c	2,54	3,20
d	2,78	3,26
e	2,41	3,96

Raíces

a	0,38	0,67
b	1,58	0,49
c	0,51	0,39
d	1,08	0,38
e	0,83	0,57

## XIII (continuación)

## Suelos

9	10	11	12
2,23	2,90	2,50	2,11
2,36	2,43	2,34	2,16
2,32	3,11	2,51	2,09
2,36	2,55	2,44	2,09
2,29	2,33	2,93	2,23
1,01	0,38	1,08	0,13
1,02	0,54	0,54	0,62
1,05	0,57	0,36	0,48
0,44	0,53	0,75	0,69
0,58	0,69	0,82	1,04

Tabla XIV

Cultivo: Maíz (*Zea mays* L.

materia seca (g)

Parte aérea

	1	2	3
a	9,49	12,10	33,28
b	6,78	10,28	41,28
c	9,37	6,27	32,35
d	6,29	11,18	14,23
e	5,42	12,94	20,57

Raíces

a	6,84	6,65	8,40
b	4,72	9,36	11,97
c	6,19	7,20	12,17
d	4,99	10,53	9,45
e	6,10	7,18	9,02

## Suelos

4	5	6
15,95	3,30	16,24
20,50	20,02	15,14
12,23	8,13	16,83
20,14	4,39	11,91
13,73	9,01	15,44
12,03	16,69	7,29
6,65	12,53	7,54
6,35	5,03	12,41
11,00	4,15	8,63
10,47	5,66	8,75

Tabla

Parte aérea

	7	8
a	11,72	8,39
b	9,62	14,36
c	9,70	11,53
d	13,75	18,99
e	9,66	18,45

Raíces

a	12,15	6,22
b	11,65	12,43
c	10,46	9,37
d	10,55	7,20
e	8,34	12,90

## XIV (continuación)

## Suelos

9	10	11	12
7,91	9,57	8,83	29,96
14,13	14,19	13,57	19,82
7,36	18,24	15,10	16,76
16,28	7,40	6,14	14,33
17,59	8,08	13,27	26,51
9,77	11,81	7,36	6,07
8,92	7,13	8,69	9,11
11,87	5,71	10,52	11,64
7,75	9,77	9,89	10,81
10,81	7,55	10,98	4,34

Tabla XV

Cultivo: Girasol (*Helianthus annuus* Mill.)

materia seca (g)

Parte aérea	Suelos					
	1	2	3	4	5	6
a	7,19	7,10	7,98	5,47	4,67	5,76
b	7,42	7,37	7,37	6,21	4,95	6,56
c	7,00	6,61	7,93	5,60	4,60	5,56
d	8,18	7,43	7,54	6,01	4,88	5,73
e	7,83	6,12	6,16	5,58	4,91	5,83
Raíces						
a	1,51	1,90	1,07	0,82	0,78	0,59
b	2,32	1,56	1,61	1,10	0,44	2,00
c	0,80	1,49	1,50	1,25	0,38	1,60
d	2,43	2,12	1,46	0,82	0,87	0,72
e	2,36	1,41	1,03	0,79	0,85	0,79



Tabla

Parte aérea

	7	8
a	6,06	7,21
b	5,89	6,91
c	6,52	6,63
d	6,22	7,64
e	6,24	7,78

Raíces

a	1,56	1,55
b	1,88	1,63
c	2,39	1,70
d	0,79	1,12
e	1,53	2,45

## XV (continuación)

## Suelos

9	10	11	12
6,24	6,76	6,56	10,78
5,79	6,42	7,41	11,49
5,77	7,58	6,96	11,60
6,51	6,68	6,45	11,16
5,94	6,43	6,28	9,82
1,33	1,24	5,76	2,41
1,16	1,93	1,81	4,24
1,17	1,23	2,89	2,28
1,01	0,94	1,29	1,47
0,69	1,29	0,84	4,12

Tabla XVI

Cultivo: Cebada (*Hordeum vulgare* L.)

Concentración de cobre (ppm)

Parte aérea	Suelos					
	1	2	3	4	5	6
a	4,79	3,56	6,82	5,23	10,52	5,09
b	5,38	3,69	6,70	4,93	8,59	4,59
c	4,83	5,12	4,66	4,50	7,80	3,70
d	5,30	4,56	5,26	4,83	7,98	4,30
e	4,47	3,81	6,88	5,16	9,59	4,87
Raíces						
a	16,09	10,30	13,13	9,39	11,34	12,05
b	19,33	8,99	12,50	12,50	11,14	13,50
c	16,91	6,20	14,14	13,19	11,72	12,04
d	17,39	9,47	8,13	14,33	8,62	14,26
e	16,88	10,12	20,31	11,44	12,10	9,52

Tabla

Parte aérea

	7	8
a	8,77	7,14
b	9,51	6,81
c	7,11	7,45
d	11,30	11,36
e	9,44	7,26

Raíces

a	23,24	27,26
b	24,38	31,28
c	31,14	41,45
d	21,16	21,57
e	17,50	22,88

## XVI (continuación)

## Suelos

9	10	11	12
3,82	5,82	7,89	6,14
3,08	4,82	6,89	6,71
3,48	6,39	6,80	6,00
4,17	4,95	7,90	7,02
3,15	5,07	7,66	4,63
8,56	14,52	15,24	22,44
8,09	14,04	15,96	20,80
14,65	15,12	21,07	23,13
9,46	14,70	17,41	23,28
9,08	10,99	20,27	23,60

Tabla XVII

Cultivo: Judía (*Phaseolus vulgaris* L.)

Concentración hierro (ppm)

Parte aérea	Suelos					
	1	2	3	4	5	6
a	174,17	148,04	101,76	80,66	74,90	102,35
b	114,93	126,44	118,24	77,82	90,38	135,57
c	139,85	107,78	81,40	88,48	98,72	98,31
d	68,23	104,20	196,77	114,30	41,50	62,89
e	134,22	163,62	114,29	98,32	168,16	101,13
Raíces						
a	980,58	708,50	929,74	998,75	543,55	1181,35
b	1210,81	1139,91	746,35	731,65	692,16	819,15
c	1017,32	557,21	444,88	1110,83	1076,75	774,18
d	869,13	794,44	913,03	1389,17	597,17	924,58
e	819,75	1074,70	876,14	907,55	1662,81	769,21

Tabla

Parte aérea

	7	8
a	87,98	85,77
b	84,79	131,59
c	89,26	104,71
d	100,13	212,73
e	86,73	102,89

Raíces

a	1767,76	1606,65
b	1660,48	1668,43
c	1109,78	1422,07
d	1394,52	1495,07
e	1706,28	871,49

## XVII (continuación)

## Suelos

9	10	11	12
107,04	105,06	98,79	86,79
121,91	69,81	112,60	207,96
96,43	75,86	105,50	176,06
87,20	77,59	107,71	162,79
112,79	101,24	97,91	122,26
1167,87	1080,43	891,57	1500,29
1544,36	1467,10	778,75	1594,93
1777,93	1712,05	796,40	1263,69
1010,97	1209,19	988,96	1360,77
1392,96	1134,59	730,76	1406,12



Tabla XVIII

Cultivo: Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.)

Parte aérea	Concentración manganeso (ppm)					
	Suelos					
	1	2	3	4	5	6
a	18,17	62,14	235,81	59,49	540,33	22,85
b	20,21	41,67	343,05	42,40	408,69	24,79
c	30,43	46,53	268,93	42,23	389,58	18,42
d	23,28	48,01	226,97	50,00	470,31	28,16
e	20,45	39,33	237,49	37,17	437,15	29,12
Raíces						
a	53,10	172,10	966,76	248,48	800,87	13,04
b	43,47	223,87	844,90	468,71	1336,35	14,11
c	15,92	157,86	963,08	314,29	1224,25	23,06
d	61,93	350,27	929,11	570,54	1346,10	11,82
e	19,02	163,66	1744,49	120,67	1507,68	14,11

## Parte aérea

	7	8
a	23,89	24,99
b	20,61	19,12
c	20,41	18,81
d	21,43	27,02
e	21,82	20,21

## Raíces

a	34,04	65,49
b	18,54	60,27
c	32,76	64,15
d	20,17	92,18
e	26,71	51,73

## XVIII (continuación)

## Suelos

9	10	11	12
60,14	44,29	27,86	27,57
35,39	39,93	34,90	12,49
57,69	34,22	30,10	11,53
55,09	46,35	29,65	17,26
42,57	41,49	26,88	15,42
152,49	187,93	20,37	56,17
78,85	128,34	38,25	14,02
244,01	83,25	45,55	13,49
275,37	150,06	31,49	13,93
227,36	75,34	25,04	9,30

Tabla XIX

Cultivo: Maíz (*Zea mays* L.)

Concentración cinc (ppm)

## Parte aérea

	1	2	3
a	12,10	18,55	22,32
b	13,86	18,60	19,09
c	12,24	22,55	25,34
d	14,76	15,34	34,33
e	17,20	19,13	34,16

## Raíces

a	13,52	14,90	43,95
b	15,20	11,75	50,55
c	18,81	11,43	33,30
d	14,03	12,80	59,41
e	14,02	11,60	78,36

## Suelos

4	5	6
15,02	7,78	10,53
12,33	3,18	11,78
16,81	4,79	10,85
13,79	5,58	12,48
17,35	4,88	11,06
6,99	8,65	5,67
9,99	7,26	5,81
9,31	19,24	5,33
12,91	18,46	4,56
9,54	25,31	4,48

Tabla

Parte aérea

	7	8
a	13,89	17,77
b	15,79	14,76
c	16,92	14,75
d	10,67	10,40
e	14,99	12,28

Raíces

a	8,10	10,09
b	10,52	5,30
c	6,84	5,33
d	7,78	12,83
e	14,88	7,06

## XIX (continuación)

## Suelos

9	10	11	12
24,68	22,44	17,09	17,93
16,38	14,10	10,47	20,02
27,24	13,49	10,26	20,34
15,19	21,49	24,70	19,56
15,71	20,27	16,17	18,94
7,94	9,44	10,95	19,05
9,90	15,28	12,61	8,91
6,58	14,39	14,77	12,55
14,74	6,80	15,45	8,67
6,66	11,70	7,75	10,78

Tabla XX

Cultivo: Girasol (*Helianthus annuus* Mill.)

Concentración boro (ppm)

Parte aérea	Suelos					
	1	2	3	4	5	6
a	11,86	10,64	10,84	11,94	9,69	8,88
b	10,36	11,67	10,72	8,16	10,07	9,43
c	11,42	10,39	12,12	10,15	10,16	11,37
d	9,80	10,76	11,99	9,56	10,16	10,73
e	10,71	11,78	12,85	9,04	9,42	10,78
Raíces						
a	4,13	5,12	6,75	10,51	10,28	9,92
b	4,65	5,84	6,97	8,33	9,69	4,90
c	5,83	5,85	7,16	5,05	8,95	4,11
d	3,78	4,06	9,03	9,94	8,98	5,96
e	4,24	5,49	9,20	8,28	6,92	6,86



Tabla XX

Parte aérea

	7	8
a	10,45	12,30
b	11,19	13,06
c	11,16	14,16
d	10,89	12,70
e	10,96	12,70

Raíces

a	5,68	5,97
b	4,96	5,57
c	6,52	6,47
d	9,31	7,34
e	5,53	4,80

(continuación)

Suelos

9	10	11	12
9,33	11,73	11,71	12,47
9,71	11,92	11,26	12,32
10,25	10,55	11,49	11,88
9,78	11,40	12,08	11,31
9,98	11,51	12,62	13,39
5,07	8,45	4,60	8,66
6,41	4,77	6,47	10,95
5,41	11,03	4,48	11,96
6,43	7,81	5,90	11,41
7,12	6,70	8,38	12,35

Tabla XXI

Cultivo: Cebada (*Hordeum vulgare* L.)Cobre ( $\mu\text{g}/25\text{g}$  de suelo)

Suelo	Planta completa				
	a	b	c	d	e
1	28	27	23	27	27
2	17	21	15	24	20
3	22	19	11	16	27
4	20	14	15	19	23
5	17	8	7	5	8
6	21	17	25	21	26
7	35	35	50	41	40
8	33	41	36	35	45
9	11	10	11	13	10
10	24	23	23	23	25
11	23	40	29	28	34
12	29	34	31	30	28

Tabla XXII

Cultivo: Judía (*Phaseolus vulgaris* L.)Hierro ( $\mu\text{g}/25\text{g}$  de suelo)

Suelo	Planta completa				
	a	b	c	d	e
1	6037	5444	6694	5088	5468
2	4284	5586	3267	4883	4372
3	5291	5690	4615	5948	4324
4	8311	3135	5917	4929	4611
5	2349	2357	3097	2447	3669
6	5700	4555	5500	5955	4522
7	6401	6672	5227	5583	8271
8	5416	7885	6557	7320	4110
9	4264	5075	8803	3946	5140
10	3494	5048	7668	4157	3492
11	3117	2966	2538	3205	1796
12	7545	9125	7400	8275	6434

Tabla XXIII

Cultivo: Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.)Manganeso ( $\mu\text{g}/25\text{g}$  de suelo)

Suelo	Planta completa				
	a	b	c	d	e
1	80	83	91	119	78
2	312	214	228	328	287
3	1234	1570	1069	1089	1287
4	325	313	256	317	274
5	1599	1323	1474	1655	1996
6	29	36	26	43	30
7	87	94	69	81	75
8	142	95	85	123	110
9	288	164	390	251	229
10	200	166	154	198	149
11	92	102	92	96	99
12	65	36	31	46	44

Tabla XXIV  
 Cultivo: Maíz (*Zea mays* L.)  
 Cinc ( $\mu\text{g}/25\text{g}$  de suelo)

Suelo	Planta completa				
	a	b	c	d	e
1	207	166	231	163	179
2	324	301	224	306	331
3	1112	1385	1225	1050	1410
4	324	319	265	420	338
5	170	155	136	101	187
6	212	222	249	188	210
7	261	274	236	229	269
8	212	278	220	290	318
9	273	320	279	361	348
10	326	309	329	225	252
11	231	252	310	304	300
12	533	478	487	374	549

Tabla XXV  
 Cultivo: Girasol (*Helianthus annuus* Mill.)  
 Boro ( $\mu\text{g}/25\text{g}$  de suelo)

Suelo	Planta completa				
	a	b	c	d	e
1	92	88	85	89	94
2	85	95	84	89	80
3	94	90	107	104	89
4	74	60	63	66	57
5	53	54	50	57	52
6	57	72	70	66	68
7	72	75	84	75	77
8	98	109	105	105	111
9	65	64	65	70	64
10	90	86	92	84	83
11	103	95	93	86	86
12	155	188	165	143	182

### 3.3. Análisis estadístico de los resultados





Una vez tabulados los resultados analíticos correspondientes a la extracción química y biológica de los suelos (Tablas VI a XXV), se procesaron junto con los parámetros obtenidos de los análisis de dichos suelos (Tablas I a V). Hay que recordar que todos los análisis --- efectuados en todos los casos, se hicieron por quintuplicado.

Para proceder al análisis matemático de los resultados, se utilizó un diseño para las regresiones simples y otro para las múltiples, por medio de una computadora HP-9845A.

El cálculo de las regresiones simples se basó en el programa "RELI" (Barahona y G. PELAYO, 1981) y el de las múltiples en el programa "MULT" (GARCIA PELAYO y BARAHONA, -- 1981), siguiendo los algoritmos de cálculo indicados por CROW y col., (1960) y BEVINGTON (1969).

Se obtuvieron, a través de las ecuaciones de regresión correspondientes, los coeficientes de correlación lineal:

1<sup>a</sup> Entre los resultados obtenidos del análisis de las plantas, frente a los obtenidos de los análisis de los extractantes.

2<sup>o</sup> Entre los resultados obtenidos del análisis de las plantas, frente a algunos parámetros de los suelos - (pH, materia orgánica,  $\text{CO}_3\text{Ca}$  equivalente,  $\text{CO}_3\text{Ca}$  activo, capacidad de cambio, limo, arcilla, montmorillonita, ilita, paragonita, clorita y caolinita).

3<sup>o</sup> Entre los resultados analíticos de los extractantes, frente a los parámetros del suelo indicados antes.

Independientemente, se determinaron los coeficientes de correlación lineal múltiple entre los resultados analíticos de las plantas, los correspondientes a los extractantes y los parámetros de los suelos.

Es evidente que gran parte de la información obtenida del ordenador, se sale del objetivo primordial de este trabajo. Parte de ella será objeto de posterior examen y creemos dará lugar a futuras publicaciones.

Ciñéndonos a nuestro tema, vamos a intentar exponer algunos de los resultados que de la comparación matemática de nuestros datos, se han obtenido.

En la Tabla XXVI se presentan los coeficientes de correlación lineal entre los resultados del análisis de las plantas, que consideramos como datos de referencia y los resultados provenientes del análisis de los extractantes.

Tabla XXVI

Coefficiente de correlación lineal

Elemento en extractante	Elemento en planta				
	Cu	Fe	Mn	Zn	B
1	0,766 <sup>***</sup>	0,272 <sup>*</sup>	-0,083	0,939 <sup>***</sup>	0,773 <sup>***</sup>
2	0,740 <sup>***</sup>	0,253 <sup>*</sup>	-0,082	0,810 <sup>***</sup>	0,739 <sup>***</sup>
3	0,168	-0,191	0,788 <sup>***</sup>	0,710 <sup>***</sup>	0,505 <sup>***</sup>
4	-0,294 <sup>*</sup>	-0,191	0,798 <sup>***</sup>	0,940 <sup>***</sup>	0,404 <sup>**</sup>
5	0,532 <sup>***</sup>	-0,414 <sup>***</sup>	0,885 <sup>***</sup>	0,929 <sup>***</sup>	-0,082
6	0,214 <sup>*</sup>	0,058	0,565 <sup>***</sup>	0,936 <sup>***</sup>	0,632 <sup>***</sup>
7	0,488 <sup>***</sup>	-0,214 <sup>*</sup>	0,945 <sup>***</sup>	0,914 <sup>***</sup>	-0,027
8	0,457 <sup>***</sup>	-0,319 <sup>*</sup>	0,908 <sup>***</sup>	0,929 <sup>***</sup>	0,009
9	0,528 <sup>***</sup>	-0,275 <sup>*</sup>	0,882 <sup>***</sup>	0,908 <sup>***</sup>	0,670 <sup>***</sup>
10	0,156	-0,058	0,656 <sup>***</sup>	0,960 <sup>***</sup>	0,396 <sup>**</sup>

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

\*\* P = 0,01

\* P = 0,1

Consideramos individualmente cada microelemento:

Cobre: Los coeficientes de correlación de más alta significación corresponden a los extractantes 1 y 2, aunque también son altamente significativos los correspondientes al 5, 9, 7 y 8, en este orden.

Hierro: Solamente los extractantes 1 y 2 extraen cantidades significativas, aunque a un bajo nivel de significación, en relación con la cantidad de elemento extraída por la planta (judía). Se pone de manifiesto la dificultad de conocer, con un análisis químico del suelo, la cantidad de hierro que está disponible para las plantas.

Aunque no está incluido en la Tabla anterior, hemos calculado también por separado, los coeficientes de correlación correspondientes a la parte aérea y encontramos en el extractante número 6 un coeficiente de correlación significativo ( $r = 0,474$ ).

Manganeso: Con todos los extractantes utilizados, salvo el 1 y el 2, se obtuvieron coeficientes de alta significación.

Cinc: Para este microelemento, todos los extractantes utilizados, sin excepción, son eficaces a juzgar por los coeficientes de correlación obtenidos, altamente significativos todos ellos.

Boro: Salvo los extractantes 5, 7 y 8, los demás se correlacionan significativamente con la acción de la planta (girasol), con distinto grado de significación, correspondiendo la más alta a los extractantes 1 y 2.

Considerando la Tabla XXVI en su conjunto, podríamos señalar un grupo de agentes extractantes, el 7, 5, 9 y 8, en este orden, como muy aptos para la determinación simultánea de los microelementos cobre, manganeso y cinc. De ellos, el 9, también podría ser utilizado si multáneamente en la determinación del boro.

Por otra parte, también podríamos elegir otro -- grupo de extractantes, el 1 y el 2, para la determinación simultánea de los microelementos cobre, hierro, cinc y boro, aunque repetimos que la significación, en el caso del hierro, es baja.

El caso del hierro, como queda visto, necesitará una investigación más completa que la que nosotros hemos llevado a cabo.

En la Tabla XXVII aparecen los coeficientes de correlación lineal obtenidos a partir de los datos analíticos procedentes de la extracción biológica frente a algunos parámetros de los suelos utilizados.

Tabla XXVII

## Coeficientes de correlación lineal

Extracción biológica	Parámetros de los suelos					
	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C. de C.	Limo
Cebada (Cu)	0,483 <sup>***</sup>	-0,264 <sup>*</sup>	0,521 <sup>***</sup>	0,246 <sup>*</sup>	0,713 <sup>***</sup>	-0,452 <sup>***</sup>
Judía (Fe)	0,442 <sup>***</sup>	0,057	0,211	0,059	0,121	-0,263 <sup>*</sup>
Tomate (Mn)	-0,847 <sup>***</sup>	0,549 <sup>***</sup>	-0,626 <sup>***</sup>	-0,589 <sup>***</sup>	-0,380 <sup>**</sup>	0,399 <sup>**</sup>
Maíz (Zn)	-0,014	0,870 <sup>***</sup>	-0,296 <sup>*</sup>	-0,358 <sup>**</sup>	0,064	-0,396 <sup>**</sup>
Girasol (B)	0,431 <sup>***</sup>	0,284 <sup>*</sup>	0,199	0,028	0,351 <sup>**</sup>	-0,303 <sup>*</sup>

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

\*\* P = 0,01

\* P = 0,1

Tabla XXVII (continuación)

Extracción biológica	Parámetros de los suelos					
	Arcilla	Montmorillonita	Ilita	Paragonita	Clorita	Caolinita
Cebada (Cu)	0,677 <sup>***</sup>	0,772 <sup>***</sup>	0,208	-0,626 <sup>***</sup>	0,223 <sup>*</sup>	0,091
Judía (Fe)	0,200	0,037	0,293 <sup>*</sup>	-0,087	0,400 <sup>**</sup>	0,162
Tomate (Mn)	-0,515 <sup>***</sup>	-0,464 <sup>***</sup>	-0,314 <sup>*</sup>	0,761 <sup>***</sup>	-0,187	-0,345 <sup>**</sup>
Maíz (Zn)	-0,232 <sup>*</sup>	-0,272 <sup>*</sup>	-0,100	0,059	0,221 <sup>*</sup>	-0,009
Girasol (B)	0,394 <sup>**</sup>	0,213	0,431 <sup>***</sup>	-0,228 <sup>*</sup>	0,538 <sup>***</sup>	0,022

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001  
 \*\* P = 0,01  
 \* P = 0,1



Del examen de dicha Tabla puede apreciarse:

1<sup>o</sup> En el caso de la cebada, la cantidad de cobre extraída por esta planta se correlaciona en un grado altamente significativo con el pH de los suelos, la cantidad de carbonatos, la capacidad de cambio, la cantidad de arcilla, en general, y la montmorillonita, en particular.

2<sup>o</sup> Como era de esperar, en el caso del hierro, solamente aparece la cantidad del microelemento extraída por las plantas de judía correlacionada a un alto nivel de significación, con el pH de los suelos. Y en un grado más bajo, con la cantidad de illita y clorita presente en los suelos.

3<sup>o</sup> Por lo que respecta al manganeso, la cantidad de este micronutriente extraída por el tomate se correlaciona con alto nivel de significación, con la materia orgánica de los suelos. Se correlaciona así mismo, con la cantidad de limo y la de paragonita que hay en los suelos.

4<sup>o</sup> En el caso del cinc, solamente aparece un coeficiente de correlación, altamente significativo, correspondiente a la cantidad de materia orgánica de los suelos.

5<sup>o</sup> Finalmente, el boro extraído por las plantas de

girasol, aparece correlacionado a diferentes niveles de significación con los siguientes parámetros de los suelos: pH, materia orgánica, capacidad de cambio, arcilla total, ilita y clorita.

En las Tablas XXVIII, XXIX, XXX, XXXI y XXXII, presentamos los coeficientes de correlación lineal obtenidos de la comparación entre los resultados de los análisis de los extractantes químicos y los anteriormente citados parámetros de los suelos utilizados. Cada Tabla y en el orden que vamos siguiendo en nuestra exposición, corresponde a un microelemento.



Tabla XXVIII

Coeficientes de correlación lineal (Cobre)

Extractantes	Parámetros del suelo					
	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C. de C.	Limo
1	0,383**	-0,260*	0,725***	0,334*	0,513***	-0,298*
2	0,404**	-0,228*	0,725***	0,251*	0,686***	-0,329*
3	0,039	0,364**	0,004	0,036	-0,118	0,082
4	-0,437***	0,792***	-0,575***	-0,630***	-0,080	-0,154
5	0,195	0,417***	0,144	-0,253*	0,474***	-0,292*
6	0,061	0,779***	-0,147	-0,384**	0,284*	-0,389**
7	0,187	0,497***	0,117	-0,263*	0,481***	0,371**
8	0,060	0,455***	0,105	-0,322*	0,441***	-0,302*
9	0,120	0,340*	0,203*	-0,246*	0,501***	-0,318*
10	0,046	0,791***	-0,263*	0,481***	0,192	-0,198

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

\*\* P = 0,01

\* P = 0,1

Tabla XXVIII (continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo					
	Arcilla	Montmorillonita	Ilita	Paragonita	Clorita	Caolinita
1	0,792 <sup>***</sup>	0,757 <sup>***</sup>	-0,403 <sup>**</sup>	0,536 <sup>***</sup>	0,357 <sup>**</sup>	0,364 <sup>**</sup>
2	0,806 <sup>***</sup>	0,750 <sup>***</sup>	-0,446 <sup>***</sup>	0,517 <sup>***</sup>	0,501 <sup>***</sup>	0,242 <sup>*</sup>
3	-0,067	0,044	-0,201	-0,052	0,144	-0,019
4	-0,378 <sup>**</sup>	-0,387 <sup>**</sup>	-0,191	0,373 <sup>**</sup>	-0,032	-0,108
5	0,372 <sup>**</sup>	0,279 <sup>*</sup>	0,294 <sup>*</sup>	-0,186	0,513 <sup>***</sup>	-0,051
6	0,016	-0,016	0,016	-0,062	0,366 <sup>**</sup>	-0,055
7	0,344 <sup>*</sup>	0,244 <sup>*</sup>	0,284 <sup>*</sup>	-0,188	0,535 <sup>***</sup>	-0,043
8	0,358 <sup>**</sup>	0,258 <sup>*</sup>	0,302 <sup>*</sup>	-0,063	0,451 <sup>***</sup>	-0,065
9	0,452 <sup>***</sup>	0,340 <sup>*</sup>	0,370 <sup>**</sup>	-0,121	0,492 <sup>***</sup>	-0,063
10	-0,125	-0,154	-0,056	-0,016	0,397 <sup>**</sup>	-0,165

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

\*\* P = 0,01

\* P = 0,1

Tabla XXIX  
Coeficientes de correlación lineal (Hierro)

Extractantes	Parámetros del suelo					
	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C. de C.	Limo
1	0,281*	0,007	0,073	0,006	0,030	0,278*
2	0,007	-0,113	0,185	-0,102	0,127	0,320*
3	0,400**	0,042	-0,212	-0,416***	-0,108	-0,426***
4	-0,581***	0,783***	-0,592***	-0,652***	-0,115	-0,012
5	-0,925***	0,212	-0,477***	-0,466***	-0,101	0,665***
6	-0,232*	0,862***	-0,414***	-0,510***	-0,097	-0,174
7	-0,723***	0,668***	-0,601***	-0,587***	-0,147	0,430***
8	-0,892***	0,450***	-0,530***	-0,578***	-0,126	0,544***
9	-0,867***	0,442***	-0,494***	-0,569***	-0,129	0,549***
10	-0,453***	0,653***	-0,617***	-0,682***	-0,156	0,041

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001  
\*\* P = 0,01  
\* P = 0,1

Tabla XXIX (continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo					
	Arcilla	Montmorillonita	Ilita	Paragonita	Clorita	Caolinita
1	0,031	0,124	-0,115	-0,037	0,018	-0,040
2	0,252*	0,315*	0,048	0,067	0,057	-0,078
3	0,143	0,003	0,282*	0,012	-0,017	0,064
4	-0,416***	-0,416***	-0,222*	0,139	-0,061	-0,146
5	-0,377**	-0,341**	-0,211	0,283*	-0,242*	-0,339**
6	-0,290*	-0,270*	-0,199	-0,036	0,130	-0,131
7	-0,482***	-0,464***	-0,263*	0,211	-0,080	-0,316*
8	-0,389**	-0,400**	-0,157	0,268*	-0,143	-0,301*
9	-0,345**	-0,379**	-0,113	0,261*	-0,097	-0,295*
10	-0,470***	-0,502***	-0,213	0,099	0,076	-0,188

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

\*\* P = 0,01

\* P = 0,1

Tabla XXX

Coeficientes de correlación lineal (Manganeso)

Extractantes	Parámetros del suelo					
	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C. de C.	Limo
1	0,035	-0,117	0,363**	0,010	0,620***	-0,316*
2	-0,060	-0,214*	0,334*	-0,130	0,525***	-0,061
3	-0,922***	0,078	-0,412**	-0,422***	-0,411**	0,684***
4	-0,523***	0,780***	-0,614***	-0,639***	-0,188	-0,028
5	-0,817***	0,424***	-0,542***	-0,491***	-0,404**	0,500***
6	-0,318*	0,660***	-0,553***	-0,672***	-0,019	-0,285*
7	-0,907***	0,417***	-0,586***	-0,547***	-0,428***	0,539***
8	-0,959***	0,278*	-0,552***	-0,568***	-0,408**	0,577***
9	-0,960***	0,223*	-0,521***	0,557***	-0,396**	0,602***
10	-0,366**	0,544***	-0,567***	0,667***	-0,032	-0,195

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001  
 \*\* P = 0,01  
 \* P = 0,1

Tabla XXX (continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo					
	Arcilla	Montmorillonita	Ilita	Paragonita	Clorita	Caolinita
1	-0,636 ***	0,682 ***	0,285 *	-0,212	0,292 *	-0,183
2	0,587 ***	0,632 ***	0,267 *	-0,088	0,234 *	-0,216 *
3	-0,311 *	-0,280 *	-0,166	0,813 ***	-0,265 *	-0,318 *
4	-0,459 ***	-0,442 ***	-0,260 *	0,479 ***	-0,098	-0,188 *
5	-0,471 ***	-0,417 ***	-0,298 *	0,731 ***	-0,182	-0,322 *
6	-0,324 *	-0,396 **	-0,064	0,296 *	-0,032	-0,088
7	-0,491 ***	-0,440 ***	-0,299 *	0,807 ***	-0,224 *	-0,340 **
8	-0,410 **	-0,397 **	-0,198	0,843 ***	-0,248 *	-0,315 *
9	-0,383 **	-0,372 **	-0,178	0,844 ***	-0,239 *	-0,331 **
10	-0,378 **	-0,419 ***	-0,154	0,303 *	0,055	-0,092

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

\*\* P = 0,01

\* P = 0,1



Tabla XXXI  
 Coeficientes de correlación lineal (Zinc)

Extractantes	Parámetros del Suelo					
	pH	Materia orgánica	CO <sub>2</sub> Ca equiv.	CO <sub>2</sub> Ca activo	C. de C.	Limo
1	-0,038	0,840 ***	-0,317 *	-0,365 **	-0,012	-0,261 *
2	0,063	0,834 ***	-0,190	-0,304 *	0,014	-0,240 *
3	0,066	0,745 ***	-0,093	-0,301 *	0,068	-0,245 *
4	-0,170	0,861 ***	-0,369 **	-0,407 **	0,005	-0,284 *
5	-0,037	0,916 ***	-0,288 *	-0,375 **	0,006	-0,274 *
6	-0,037	0,920 ***	-0,301 *	-0,377 **	0,004	-0,274 *
7	-0,019	0,908 ***	-0,279 *	-0,360 **	0,002	-0,269 *
8	-0,042	0,914 ***	-0,282 *	-0,381 **	0,011	-0,274 *
9	-0,021	0,907 ***	-0,276 *	-0,365 **	0,001	-0,264 *
10	-0,066	0,928 ***	-0,320 *	-0,400 **	0,008	-0,276 *

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

\*\* P = 0,01

\* P = 0,1

Tabla XXXI (continuación)

Extractantes

Parámetros del suelo

	Arcilla	Montmorillonita	Ilita	Paragonita	Clorita	Caolinita
1	-0,236*	-0,295*	-0,079	0,126	0,248*	-0,023
2	-0,085	-0,250*	0,142	0,106	0,354**	0,048
3	0,025	-0,211	0,295*	0,123	0,435***	0,089
4	-0,320*	-0,276*	-0,258*	0,125	0,106	-0,051
5	-0,192	-0,296*	-0,002	0,136	0,293*	0,006
6	-0,214*	-0,293*	-0,043	0,124	0,271*	-0,004
7	-0,182	-0,294*	0,019	0,132	0,302*	0,006
8	-0,187	-0,290*	0,002	0,137	0,291*	0,011
9	-0,178	-0,294*	0,025	0,134	0,304*	0,012
10	-0,239*	-0,307*	-0,072	0,128	0,265*	-0,011

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

\*\* P = 0,01

\* P = 0,1

Tabla XXXII

Coeficientes de correlación lineal (Boro)

Extractantes	Parámetros del suelo					
	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C. de C.	Limo
1	0,606 <sup>***</sup>	0,497 <sup>***</sup>	0,250 <sup>*</sup>	0,136	0,261 <sup>*</sup>	-0,334 <sup>**</sup>
2	0,465 <sup>***</sup>	0,620 <sup>***</sup>	0,087	0,115	0,123	-0,175
3	0,117	0,814 <sup>***</sup>	-0,350 <sup>**</sup>	-0,135	-0,142	0,007
4	0,190	0,839 <sup>***</sup>	-0,382 <sup>**</sup>	-0,221 <sup>*</sup>	-0,091	-0,199
5	-0,238 <sup>*</sup>	0,810 <sup>***</sup>	-0,587 <sup>***</sup>	-0,113	-0,484 <sup>***</sup>	0,289 <sup>*</sup>
6	0,396 <sup>**</sup>	0,401 <sup>**</sup>	0,015	0,124	0,080	-0,106
7	-0,218 <sup>*</sup>	0,781 <sup>***</sup>	-0,590 <sup>***</sup>	-0,097	-0,506 <sup>***</sup>	0,327 <sup>*</sup>
8	-0,324 <sup>*</sup>	0,598 <sup>***</sup>	-0,258 <sup>*</sup>	-0,103	-0,302 <sup>*</sup>	0,194
9	0,455 <sup>***</sup>	0,449 <sup>***</sup>	-0,072	-0,035	-0,015	-0,028
10	0,116	0,760 <sup>***</sup>	-0,511 <sup>***</sup>	-0,330 <sup>**</sup>	-0,270 <sup>*</sup>	0,184

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

\*\* P = 0,01

\* P = 0,1

Tabla XXXII (continuación)

Extractantes

Parámetros del suelo

	Arcilla	Montmorillonita	Ilita	Paragonita	Clorita	Caolinita
1	0,173	0,076	0,149	-0,462 <sup>***</sup>	0,590 <sup>***</sup>	0,188
2	0,045	0,022	0,009	-0,296 <sup>*</sup>	0,446 <sup>***</sup>	0,104
3	-0,363 <sup>**</sup>	-0,241 <sup>*</sup>	-0,358 <sup>**</sup>	0,109	0,159	-0,352 <sup>**</sup>
4	-0,362 <sup>**</sup>	-0,317 <sup>*</sup>	-0,265 <sup>*</sup>	0,029	0,180	-0,188
5	-0,740 <sup>***</sup>	-0,592 <sup>***</sup>	-0,596 <sup>***</sup>	0,341 <sup>**</sup>	-0,022	-0,365 <sup>**</sup>
6	0,031	-0,044	-0,019	-0,219 <sup>*</sup>	0,362	-0,140
7	-0,756 <sup>***</sup>	-0,580 <sup>***</sup>	-0,625 <sup>***</sup>	0,374 <sup>**</sup>	-0,031	-0,480 <sup>***</sup>
8	-0,324 <sup>*</sup>	-0,164	-0,404 <sup>**</sup>	0,276 <sup>*</sup>	-0,226 <sup>*</sup>	-0,061
9	-0,077	-0,066	-0,066	-0,157	0,232 <sup>*</sup>	-0,099
10	0,483 <sup>***</sup>	-0,478 <sup>***</sup>	-0,272 <sup>*</sup>	0,132	0,192	-0,211

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

\*\* P = 0,01

\* P = 0,1

En la Tabla XXVIII se observa cómo se repiten los mismos parámetros de los suelos en los que se encontraron coeficientes de correlación de alta significación, cuando comentábamos la tabla XXVII, confirmándose que, en general, los extractantes 1 y 2 parecen ser los de acción más parecida a la acción extractante de la planta, por lo que se refiere al cobre.

El comportamiento, tanto de la planta como de los extractantes utilizados por nosotros, frente al hierro, repetimos una vez más, ha sido poco satisfactorio y la observación de la tabla XXIX no nos permite modificar esta impresión. Deberíamos apuntar, de todas formas, que en los parámetros materia orgánica y limo es donde aparece el mayor número de coeficientes de correlación significativos.

En la Tabla XXX, correspondiente al manganeso, observamos que la mayoría de los extractantes se comportan, en general, de igual forma a cómo lo hizo la planta, es decir, existe correlación a un alto nivel de significación con los mismos parámetros de los suelos con que se correlacionó la planta: materia orgánica, limo y paragonita, destacándose quizá el extractante 7 sobre los demás.

En la tabla XXXI coinciden, nuevamente, los coeficientes de correlación de alta significación en aquel parámetro materia orgánica, que ya habíamos señalado al comentar la correlación extractantes-parámetros de los suelos, cuando hablábamos del cinc.

A juzgar por la tabla XXXII, la acción de los extractantes, en general, en cuanto al boro se refiere, está correlacionada con la cantidad de materia orgánica de los --suelos, pareciéndose la acción del extractante número 1 como la que se asemeja más a la acción de la planta, confirmandonos lo deducido al comentar la tabla XXIV.

Es evidente que en un sistema multivariante, las relaciones mutuas entre las variables pueden oscurecer la información global que nos suministra el diseño estadístico de correlaciones simples que acabamos de comentar. Por esta razón, hemos sometido nuestros datos a un método de análisis numérico más complejo que el precedente. Este método es el análisis de correlaciones múltiples mediante el cual, bajo la hipótesis de la existencia de una relación lineal entre variables, se obtiene una ecuación de la forma

$$Y = a_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

en la que los coeficientes de regresión indican el aporte unitario de cada una de las variables a la variable Y.

El coeficiente de correlación múltiple R, correspondiente a la ecuación anterior, es, en cualquier caso, igual o superior a cualquiera de los coeficientes de correlación simple.

Además de los coeficientes de regresión y correlación, para cada combinación de variables, se ha calculado el aporte de cada variable al coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Las ecuaciones de regresión se han calculado siguiendo un método iterativo en el que se analizan en principio todas las variables disponibles y en ciclos sucesivos se van

eliminando aquéllas cuyo aporte a la variación explicada (coeficiente de determinación) es nulo o negativo. De esta forma sólo intervienen aquéllas que son más eficaces, dentro del sistema de partida, para explicar la variación total de la variable independiente. La ausencia de una variable en la ecuación final no significa que no tenga alguna influencia sobre la dependiente. Podría tener una importancia, incluso grande, si se hubiera elegido otra combinación de variables. El resultado final puede depender, en cierta medida, de las variables elegidas inicialmente.

Presentamos las ecuaciones de regresión obtenidas, - en forma de tablas (Tabla XXXIII a XXXVII) ya que así se - facilita la comparación global de los métodos de extracción entre sí.

En estas tablas figuran, en ordenadas, los diversos extractantes (método de extracción) y en abscisas, las variables de los suelos, que pueden tener relación con el micro nutriente extraído, en cada caso. En cada recuadro, además de figurar el coeficiente de regresión, aparece también, en segundo lugar, el aporte a la variación explicada, expresado como porcentaje.



Tabla XXXIII

Regresion y correlación lineal múltiple (Cobre)

Extractantes	Parámetros del suelo						
	Termino independ.	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C.de C.	Limo
Planta	18,9	....	....	....	....	....	....
1	6,5	....	....	0,9 19%	....	....	....
2	-26,1	3,3 4%	....	0,96 22%	....	....	....
3	3,5	....	3,5 16%	....	....	....	....
4	220,9	-19,3 16%	20,3 42%	-1,5 16%	-0,18 9%	-0,55 0,8%	-1,4 8%
5	-25,8	....	53,5 34%	2,2 3,3%	-0,22 2,5%	....	....

Tabla XXXIII (Continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo						
	Término independ.	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C.de C.	Limo
6	21,4	.....	68,3 71%	.....	-0,4 6%	.....	-1,08 8%
7	-88,7	.....	94,4 45%	3,3 3%	-0,26 2%	.....	.....
8	-42,3	.....	31,2 39%	1,1 2%	-0,1 3%	.....	.....
9	-46,8	.....	33,2 27%	1,7 6%	-0,03 0,57%	.....	.....
10	52,1	.....	88,9 56%	.....	-0,89 10%	.....	.....

Tabla XXXIII (Continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo						R
	Arcilla	Montrori llonita	Illita	Parago- nita	Clorita	Caolinita	
Planta	0,3 33%	....	....	-9,8 25%	....	....	0,763***
1	0,7 42%	....	....	-7,9 8%	....	....	0,833***
2	0,58 39%	....	....	....	4,6 14%	....	0,884***
3	....	....	....	....	1,6 4%	....	0,445***
4	....	....	....	....	....	....	0,961***
5	1,8 19%	....	2,5 10%	-35,06 4,4%	....	-24,7 3%	0,874***

n = 60

Significación \*\*\* P = 0,001

Tabla XXXIII (Continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo						R
	Arcilla	Montmori- llonita.	Ilita	Parago- nita	Clorita	Calcita	
6	1,5 0,6%	.....	.....	-27,8 1%	.....	13,2 1,57%	0,941***
7	2,9 18%	.....	4,1 10%	-57,8 5%	.....	-39,1 3%	0,919***
8	1,2 23%	.....	1,2 9%	-5,2 0,4%	.....	-12,7 4%	0,889***
9	1,3 26%	.....	2,04 16%	-8,3 1%	.....	-17,7 4%	0,901***
10	.....	.....	.....	.....	.....	-4,4 1%	0,820***

n = 60

Singnificación

\*\*\* P = 0,001

Tabla XXXIV  
Regresión y correlación lineal múltiple (Hierro)

Extractantes	Parámetros del suelo						
	Término independ.	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C.de C.	Limo
Planta	-4034,6	993,9	275,1	.....	.....	0,853	.....
		17%	1%			2,2%	
1	- 656,1	64,7	31,7	.....	.....	.....	4,8
		15%	0,2%				21%
2	1255,6	117,5	.....	.....	-2,2	.....	11,1
		0,4%			4%		31%
3	145,9	-9,7	.....	-0,5	.....	.....	-0,7
		26%		7%			36%
4	5539,4	-587,9	388,2	-14,9	-1,9	.....	-25,4
		33%	40%	8%	5%		0,5%
5	7040,3	-1021,9	105,8	.....	.....	.....	22,1
		71%	2%				21%

Tabla XXXIV (Continuación)

Extractantes

Parámetros del suelo

	Término independ.	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C.de C.	Limo
6	-1013,6	....	1823,4 67%	....	-17,9 12%	....	....
7	4308,4	-639,2 40%	511,3 40%	-0,6 0,27%	....	....	9,0 6%
8	3360,0	-484,3 67%	-164,9 16%	....	....	....	6,9 11%
9	2586,6	-373,2 62%	132,9 15%	....	....	....	6,4 13%
10	25401,2	-3869,9 7%	13757,7 65%	....	-200,4 22%	....	....

Tabla XXXIV (Continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo						
	Arcilla	Montmori llonita	Ilita	Parago nita	Clorita	Caolinita	R
Planta	....	....	55,5 7,7%	....	229,7 6,5%	....	0,583***
1	....	3,4 7%	....	....	....	....	0,659***
2	6,6 20%	....	....	13,6 0,6%	....	....	0,748***
3	....	....	0,03 1%	....	....	....	0,833***
4	-8,9 9%	....	....	7,8 0,2%	....	....	0,976***
5	....	....	....	5,1 0,16%	....	-17,0 1%	0,975***

n = 60

Significación

\*\*\* P = 0,001

Tabla XXXIV (Continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo						R
	Arcilla	Montmori llonita	Ilita	Parago nita	Clorita	Caolinita	
6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0,888***
7	.....	.....	.....	.....	-29,8 0,4%	-38,5 2,3%	0,943***
8	.....	.....	.....	4,4 0,27%	.....	-6,8 7%	0,971***
9	.....	.....	.....	3,4 0,25%	.....	-2,8 0,34%	0,950***
10	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0,966***

n = 60

Significación

\*\*\* P = 0,001



Tabla XXXV

Regresión y correlación lineal múltiple (Manganeso)

Extractantes	Parámetros del suelo						
	Término independ.	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C.de C.	Limo
Planta	4425,2	-571,9 64%	202,4 20%	.....	.....	.....	.....
1	1217,9	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	1040,8	.....	.....	.....	-8,1 1,7%	.....	.....
3	4969,5	-720 71%	.....	.....	.....	.....	16,8 23%
4	7316,2	-1008,9 14%	1665,9 49%	.....	-20,5 15%	.....	.....
5	8365,9	-1045,1 59%	281,6 11%	-3,5 1%	.....	-15,2 4%	.....

Tabla XXXV (Continuación)

Extractantes

Parámetros del suelo

	Término independ.	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C.de C.	Limo
6	45433,2	-635,4 2%	1078,4 10%	-187,0 10%	-177,8 48%	-459,8 1%	-497,2 26%
7	9376,3	-1249,3 72%	296 11%	....	....	....	10,1 7%
8	7957,9	-1062,7 80%	112,9 3%	-12,4 5%	....	....	10,7 9%
9	7165,3	-952,1 80%	67,4 2%	-6,9 3%	....	....	11,3 11%
10	77662,1	-4721,4 9%	5548,2 30%	....	-190,3 26%	....	-663,9 12%

Tabla XXXV (Continuación)

Extractantes

Parámetros del suelo

	Arcilla	Montmori llonita	Ilita	Parago nita	Clorita	Caolinita	R
Planta	-4,9 9%	....	....	....	....	....	0,965***
1	112,2 57%	....	....	-221,9 1%	....	-908,2 11%	0,832***
2	85,9 51%	....	....	....	....	-688 13%	0,812***
3	....	....	....	....	....	-1,8 0,1%	0,972***
4	-10 3%	....	....	....	....	....	0,901***
5	....	....	-10,4 3%	....	....	-45,7 2%	0,900***

n = 60

Significación

\*\*\* P = 0,001

Tabla XXXV (Continuación)

Extractantes

Parámetros del suelo

	Arcilla	Montmori llonita	Ilita	Parago nita	Clorita	Caolinita	R
6	.....	.....	-258,5 2%	.....	.....	.....	0,990***
7	-7,0 6%	.....	.....	.....	.....	.....	0,978***
8	.....	.....	.....	.....	.....	-14,4 1%	0,990***
9	.....	.....	.....	.....	.....	-23,4 2%	0,989***
10	-360,7 18%	.....	.....	.....	.....	.....	0,980***

n = 60

Significación

\*\*\* P = 0,001

Tabla XXXVI

Regresión y correlación lineal múltiple (Zinc)

Extractantes

Parámetros del suelo

	Término independ.	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C.de C.	Limo
Planta	542,4	....	237,8	....	-1,7	....	-11,5
			66%		6%		20%
1	-28,4	....	286,6	....	-0,7	....	-6,8
			82%		2%		8%
2	-1746,8	163,1	247,1	....	-0,41	....	....
		3%	75%		1%		
3	-186,1	17,8	17,2	....	-0,04	....	....
		4%	68%		2%		
4	1996,8	-173,7	378,0	....	-1,1	....	-22,8
		4%	58%		24%		16%
5	-260,0	....	384,5	....	-0,89	....	-6,9
			84%		2%		6%

Tabla XXXVI (Continuación)

Extractantes

Parámetros del suelo

	Término independ.	pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca Equiv.	CO <sub>3</sub> Ca Activo	C.de C.	Limo
6	-88,6	....	672,8 81%	....	-2,3 3%	....	-16,5 8%
7	-837,4	....	492,3 87%	....	....	....	....
8	-175,0	....	268,3 83%	....	-0,7 3%	....	-4,9 6%
9	-445,0	....	264,0 87%	....	....	....	....
10	-57,7	....	693,8 82%	....	-2,9 4%	....	-17,5 8%

Tabla XXXVI (Continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo						
	Arcilla	Montmori llonita	Ilita	Parago nita	Clorita	Caolinita	R
Planta	....	....	-5,6 2%	....	....	-9,9 0,04%	0,971***
1	....	....	....	....	....	-13,6 0,16%	0,961***
2	....	....	11,1 5%	186,4 3%	....	....	0,932***
3	0,9 2%	-0,4 7%	....	30,7 9%	....	....	0,964***
4	-8,5 9%	....	....	....	....	....	0,943***
5	....	....	4,3 0,02%	....	....	....	0,960***

n = 60

Singificación

\*\*\* P = 0,001

Tabla XXXVI (Continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo						R
	Arcilla	Montmori llonita	Ilita	Parago nita	Clorita	Caolinita	
6	....	....	....	....	....	-23,2 0,002%	0,962***
7	....	....	13,6 0,5%	....	....	....	0,937***
8	....	....	2,9 0,02%	....	....	....	0,958***
9	....	....	7,4 0,6%	....	....	....	0,938***
10	....	....	....	....	....	-27,3 0,06%	0,973***

n = 60

Significación

\*\*\* P = 0,001



Tabla XXXVII

Regresión y correlación lineal múltiple (Boro)

Extractantes	Término independ.	Parámetros del suelo					
		pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C.de C.	Limo
Planta	-111,8	17,6	18,5	....	....	....	....
		17%	16%				
1	-115,3	14,9	14,6	0,6	....	....	....
		32%	35%	6%			
2	-86,8	12,9	11,8	....	....	....	....
		26%	43%				
3	-19,4	2,7	5,5	....	....	....	....
		3%	67%				
4	-60,6	8,7	11,7	-0,2	-0,1	....	....
		8%	66%	0,4%	3%		
5	136,6	-1,9	20,9	....	....	....	....
		1%	50%				

Tabla XXXVII (Continuación)

Extractantes	Término independ.	Parámetros del suelo					Limo
		pH	Materia orgánica	CO <sub>3</sub> Ca equiv.	CO <sub>3</sub> Ca activo	C.de C.	
6	-72,3	10,1 18%	9,6 24%	....	....	....	....
7	118	....	11,6 46%	....	....	....	....
8	101,7	....	6,6 43%	....	....	....	0,1 2%
9	-50,1	7,2 24%	5,2 23%	....	....	....	....
10	-123,4	22,6 8%	13,0 40%	....	-0,5 20%	-1,2 9%	....

Tabla XXXVII (Continuación)

Extractantes

Parámetros del suelo

	Arcilla	Montmori llonita	Ilita	Parago nita	Clorita	Caolinita	R
Planta	0,6 15%	....	0,9 11%	....	....	....	0,777***
1	0,1 3%	....	....	....	2,4 9%	....	0,925***
2	....	....	....	....	....	....	0,832***
3	....	....	....	....	....	-1,4 12%	0,908***
4	....	....	....	....	....	....	0,907***
5	-0,7 29%	....	....	....	....	-2,6 4%	0,916***

n = 60

Significación

\*\*\* P = 0,001

Tabla XXXVII (Continuación)

Extractantes	Parámetros del suelo						R
	Arcilla	Montmori llonita	Ilita	Parago nita	Clorita	Caolinita	
6	0,3 1%	....	....	....	....	-3,4 5%	0,696***
7	....	-0,3 11%	-0,7 20%	....	....	-2,6 10%	0,934***
8	....	....	....	....	-2,8 9%	....	0,732***
9	....	....	....	....	....	....	0,687***
10	....	....	-0,4 4%	....	0,2 0,2%	....	0,901***

n = 60

Significación

\*\*\* P = 0,001

El cobre extraído por el método biológico depende esencialmente del contenido en arcilla y disminuye al aumentar la proporción de paragonita dentro de la arcilla. El primer hecho podría indicar que el cobre se encuentra fundamentalmente adsorbido en el complejo de cambio de las arcillas; el efecto negativo de la paragonita (que se observa también en otros métodos de extracción) podría reflejar en cierto modo un efecto del componente litológico de los suelos.

Los materiales ricos en paragonita, dentro del ámbito regional, abundan en detritos provenientes de Sierra Nevada que quizás sean ya pobres en cobre.

Los métodos de extracción a partir del método 3 muestran una considerable influencia de la materia orgánica; estos métodos difieren por tanto considerablemente del método biológico en los mecanismos de extracción y en efecto están mal correlacionados con el método biológico. El método de extracción óptimo (extractante 1) sólo difiere del biológico en la influencia directa de los carbonatos mientras que el contenido de materia orgánica del suelo no tiene ningún efecto.

Como se ha visto anteriormente en otro capítulo, no

hay ningún método de extracción que tenga una correlación elevada con el método biológico. El hierro extraído por los diversos extractantes puede predecirse muy bien a partir de los parámetros del suelo pero esto no comporta ninguna ventaja práctica.

Hay que hacer notar que el método biológico y los dos métodos relativamente más satisfactorios (extractante 1 y 2) coinciden en mostrar una relación directa entre el pH del suelo y la cantidad del hierro extraído; en todos los demás métodos esta relación es inversa. Las razones de esta razón directa se nos escapan. También los métodos 1 y 2 coinciden con el biológico en que la materia orgánica tiene una influencia escasa o nula. Hay sin embargo otros métodos en los que la materia orgánica es un componente fundamental.

Una consecuencia importante que se puede extraer de aquí es que, para los suelos estudiados, la cantidad de hierro extraíble por la planta se puede predecir de un modo más eficaz a través de la ecuación de regresión con los parámetros del suelo que a través de extractante alguno.

El manganeso extraíble por el método biológico puede estimarse con gran precisión a través del efecto del pH, la materia orgánica y el contenido en arcilla.

La relación con la materia orgánica es directa mien-

tras que con el pH y el contenido en arcilla es inversa.

Análogo comportamiento muestra el método de extracción 7 que es el que se ha considerado como óptimo para este elemento. Existen otros métodos en los que también es determinable una cierta influencia (negativa) del contenido en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  activo o equivalente. Esto no ocurre ni con el biológico ni con el extractante 7.

La observación de los coeficientes de correlación pone de manifiesto que el status nutritivo del suelo en cinc se puede predecir con mucha precisión a partir de los parámetros analíticos del suelo. En general, el aporte fundamental de cinc proviene de la materia orgánica, mientras que existe una relación inversa con el  $\text{CO}_3\text{Ca}$  activo y con el limo. Este último hecho pudiera deberse a que el cinc depende en alguna medida de la fracción arena. El método de extracción óptimo (el 10) parece coincidir con el método biológico en los órdenes de magnitud de los coeficientes y porcentaje de variación explicada.

El boro extraíble por el método biológico puede predecirse moderadamente bien a partir de los parámetros del suelo. Aumenta con el contenido de materia orgánica, con el pH, con el contenido en arcilla y con la proporción de ilita dentro de la misma.

El método óptimo ( el 1) coincide a grandes rasgos con el biológico salvo un efecto (pequeño) del  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .

#### 4 . CONCLUSIONES





Como resumen de todo lo expuesto en la discusión de nuestros resultados, correspondientes a la parte experimental, estimamos que se podrían deducir las siguientes conclusiones:

1<sup>a</sup> .- Considerando individualmente la extracción química de cada uno de los 5 microelementos estudiados, aparecen como más eficaces:

- a) El n°1 (ácido acético al 2,5%, pH 2,5) y el n°2 (solución Morgan), para el elemento Cu.
- b) No hemos encontrado, con nuestro planteamiento de trabajo, un extractante eficaz para la determinación del Fe asimilable.
- c) El extractante n°7 (bicarbonato amónico 1M, más DTPA 0,005M, pH 7,6) parece ser el más idóneo para la determinación de Mn asimilable.
- d) La eficacia del extractante n°10 (oxalato - amónico 0,2M, pH 3,0), en comparación con la cantidad de Zn que extrae su planta indicadora, es superior a los demás extractantes utilizados.
- e) En el caso del B asimilable, el extractante n°1 (ácido acético al 2,5%, pH 2,5) es el más eficaz.

2<sup>a</sup> .- Si consideramos globalmente los 5 microelementos estudiados, resulta que el extractante n°1 (ácido acético al 2,5%, pH 2,5) podría utilizarse para la determinación simultánea de los contenidos de Cu, Fe, Zn y B, en suelos de cultivo.

3<sup>a</sup> .- Igualmente, el extractante n°9 (DTPA 0,005M, más cloruro cálcico 0,01M, más trietanolamina 0,1M, pH -- 7,3) serviría para la determinación simultánea de Cu, Mn, Zn y B asimilables.

4<sup>a</sup> .- El extractante n°6, propuesto por la F.A.O. - (acetato amónico 0,5N, más ácido acético 0,5N, más EDTA - 0,02M, pH 4,65) sólo podrá aplicarse, al menos en nuestros suelos, en la determinación simultánea de Mn, Zn y B asimilables .

## 5. BIBLIOGRAFIA



- ACQUAYE, D.K., ANKOMAH, A.B. y KANABO, I. (1972). "Estimation of available copper, iron, manganese and zinc in soils using cation exchange resin". *J. Sci. Food Agri.*, 23 (8), 1035-44.
- ADAMS, C.A., M. Sci. y Ph. D. (1978). "Boron as a plant nutrient". Chilean Nitrate Agricultural Service, 140, 1-12.
- AGARWALA, S.C., SHARMA, C.P. y KUMAR, A. (1964). "Interrelationship of iron and manganese supply in growth, chlorophyll and iron porphyrin enzymes in barley --- plants". *Plant Physiol.*, 39, 603-9.
- AGARWALA, S. C.. SHARMA, C.P. y FAROOQ, S. (1965). "Effects of iron supply on growth chlorophyll tissue iron and activity of certain enzymes in maize and radish". *Plant Physiol.*, 40, 493-99.
- AGUILAR-ROS, A. y AGUILAR, A. (1977). "Determinación analítica de boro asimilable en suelos de cultivo". *An. - Edaf. Agrobiol.*, 36 (11-12), 1277-80.
- ALBERT, L.S. (1968). "Induction and antagonism of boron-like deficiency symptoms of tomato plants by selected nitrogen bases". *Plant Physiol.*, 43, Suppl. S51.
- ALBERT, L.S. y WILSON, C.M. (1961). "Effect of boron on elongation to tomato root tips". *Plant Physiol.*, 36, 244-51.
- AMBERGER, A. (1973). "The role of manganese in the metabolism of plants". *Agrochimica*, 17, 69-83.

- AMBLER, J.E., BROWN, J.C. y GAUCH, H.G. (1970). "Effect of Zn on translocation of Fe in soybean plants". - *Plant Physiol.*, 46, 320-23.
- AMBLER, J.E., BROWN, J.C. y GAUCH, H.G. (1971). "Sites of Fe reduction in soybean plants". *Agronomy Journal*, 63, 95-7.
- ANDERSON, I.C. y ROBERTSON, D.S. (1960). "Role of carotenoids in protecting chlorophyll from photodestruction". *Plant Physiol.*, 35, 531-34.
- ARNON, D.I. (1954). "Some recent advances in the study of essential micronutrients for green plants". Rep. -- *Commun. 8th Int. Congr. Bot. Paris, Sec.*, 11, 73-80.
- ARNON, D.I. y STOUT, P.R. (1939). "Molybdenum as an essential element for higher plants". *Plant Physiol.*, 14, 599-602.
- AYED, J.A. (1970). "A study in the mobilization of iron in tomato roots by chelate treatments". *Plant and Soil*, 32, 18-26.
- BACHTHALER, G. y STRITESKY, E. (1973). "Growth investigations on crop plants on a mineral soil oversupplied with copper". *Bayrisches Landwirtschaftliches Jahrbuch.*, 50 (1), 73-81.
- BAKER, J.E., GAUCH, H.G. y DUGER, W.M. (1956). "Effect of boron on the water relations of higher plants". *Plant Physiol.*, 31, 89-94.
- BAKER, A.S. (1971). "Relation between available boron and

boron extracted from soils by hot water or phosphoric acid". *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2 (5), 311-20.

- BALASUNDARAM, C.S., LAKSMINARASIMHAM, C.R. y RAJAKKANNU, K. (1973). "Evaluation of different methods of measuring available copper in soils of Tamil Nadu". *Madras Agr.J.*, 60 (8), 294-300.
- BAMBERGS, K. (1964). "Effect of trace elements on the quality of sugar beets and broad beans and output of -- trace elements by crops". *Tr. Latv. Sel'skokhoz. Akad.* No.14, 31-8.
- BARAHONA, E. y GARCIA-PELAYO, J. (1981). "Programa "RELI". Comunicación privada.
- BARBER, S.A. (1971a). "A kinetic approach to the evaluation of the soil nutrient potential". En *Recent advances in Plant Nutrition Proceedings of sixth Int. Coll. on Plant Analysis and Fert. Problems*, 1, 259-73.
- BARBER, S.A. (1971b). "The influence of the plant root system in the evaluation of soil fertility". *Proc. Int. Symp. Soil Fert. Evalu. New Delhi*, 1, 249-56.
- BARBER, S.A., WALKER, J.M. y VASEY, E.H. (1963). "Principles of ion movement through the soil to the plant root". En: *Transactions of the Joint Meeting of Commissions IV and V Int. Society of Soil Sci.* 3, 121-24. Ed. G. J. Neale. New Zealand.
- BAREA, J.M., OLIVARES, J., AGUILAR, A. y CALLAO, V. (1971a).



- "Microbial reduction of  $MnO_2$  and its application to agricultural soils deficient in assimilable Mn. I. Microbiological and analytical studies of a mould of the soil capable of Mn solubilization". *Agrochimica*, XV (4-5), 472-79.
- BAREA, J.M., OLIVARES, J., AGUILAR, A. y CALLAO, V. (1971b). "Microbial reduction of  $MnO_2$  and its application to agricultural soils deficient in assimilable Mn. II. Use of *Aspergillus niger* as microbial fertilizer". *Agrochimica*, XV (4-5), 480-84.
- BARKER, A.V. (1979). "Nutritional factors in photosynthesis of higher plants". *Journal of Plant Nutrition*, 1 (3), 309-42.
- BARNETTE, R.M., CAMP, J.P., WARNER, J.D. y GALL, O.E. -- (1936). "Use of Zn sulfate under corn and other -- field crops". *Sta. Agr. Exp. Sts. Bull.*, 293, 3.
- BARTLETT, R.J. y PICARELLI, C.J. (1973). "Availability of boron an phosphorus as affected by liming and acid potato soil". *Soil Sci.*, 116, 77-83.
- BARTON, R. (1970). "The production and behaviour of phyto-ferritin particles during senescence of *Phaseolus* -- leaves". *Planta*, 94, 73-7.
- BATFY, T. (1971). "Mn and B deficiency in trace elements in soils and crops". *Techn. Bull. Ministry of Agric., Fisheries and Food, U.K.*, 21, 137-49.
- BAUER, A. y LINDSAY, W.L. (1965). "The effect of soil tem-

- perature on the availability of indigenous soil Zn".  
Soil Sci. Soc. Am. Proc., 29, 413-20.
- BEAUCHAMP, E.G. y HUSSAIN, I. (1974). "Brown heart in rutabagas grown on southern Ontario soils". Can. J. Soil Sci., 54, 171-78.
- BECKETT, P.H.T. y DAVIS, R.D. (1978). "The additivity of the toxic effects of Cu, Ni and Zn in young Barley". New Phytol., 81, 155-73.
- BECKWITH, R.S.(1963)."Chemical extraction of nutrients in soils and uptake by plants". Agrochimica, 7 (4), 296-313.
- BEESON, K.C. y MacDONALD, H.A. (1951). "Absorption of mineral elements by forage plants". III. The relation of stage of growth to the microelement content of timothy and some legumes". Agron. J., 43, 589-93.
- BENNETT, A.C. (1974). "Toxic effects of aqueous ammonia, copper, zinc, lead, boron and manganese on root -- growth". En: *The plant root and its environments*, 669-83. Edit. E.W. Carson. Univ. of Virginia Press. Charlottesville.
- BENNETT, O.L. y MATHIAS, E.L. (1973). "Growth and chemical composition of crownvetch as affected by lime, boron, soil source and temperature regime". Agron. J., 65, 587-91.
- BERGER, K.C. y TRUOG, E. (1944). "Boron tests and determination for soils and plants". Soil Sci., 57, 25-36.

- BERGER, K.C. y PRATT, P.F. (1963). *Fertilizer Technology and Usage*, 287-340. Ed. M.H. McVickar, G.L. Bridger and L.B. Nelson. Soil Sci. Soc. Am. Madison/Wisconsin. USA.
- BERGMANN, W. (1976). "Ernährungsstörungen bei kulturpflanzen in Farbbildern". Fischer. Jena., 81-113.
- BERRY, J.A. y REISENAUER, H.M. (1967). "The influence of molybdenum on iron nutrition of tomato". *Plant and Soil* , 27, 303-13.
- BERZINYA, A.Ya. y ZHIZNEVSKAYA, G.Y (1973). "Iron and magnesium in lettuce leaves during chlorosis caused by excess copper and manganese". *Fiziologiya Rastenii*, 20 (6), 1248-52.
- BHAGUAT, K. y HILL, R. (1951). "Cytochrome oxidase in higher plants". *New Phytologist* , 50, 112-20.
- BEVINGTON, P.R. (1969). En *Data reduction and error analysis for physical Science*. Ed. McGraw-Hill Book Co., N.Y.
- BHATTI, A.S. y SARWAR, G. (1977). "Responses of corn to micronutrients (Zn and Cu) on a saline soil. I. -- Grown and ionic relationships". *Plant and Soil*, 48 (3), 719-24.
- BIDDULPH, O. (1941). "Diurnal migration of injected radio-phosphorus from bean leaves". *Am. J. Botany*, 28, - 348-54.

- BIDDULPH, O. (1953). "Translocation of radioactive minerals in plants". Kan. Agr. Exp. Sta. Rep., 4, 48-58.
- BIRNBAUM, E.H., DUGGER, W.M. y BEASLEY, B.C.A. (1977). "Interaction of boron with components of nucleic acid metabolism in cotton ovules cultured in vitro". Plant Physiol., 59, 1034-38.
- BLAMEY, F.P.C. (1976). "Boron nutrition of sunflowers (*Helianthus annuus* L.) on an avalon medium sandy loam". Agrochemophysica, 8, 5-10.
- BLASCHKE, H. (1977). "Der Einfluss überhöhter kupferversorgung auf einige Kulturpflanzen und deren Wurzelentwicklung". Z. Acker-und Pflanzenbau, 144 (3), 222-29.
- BOARDMAN, N.K. (1975). "Trace elements in photosynthesis". En: *Trace element in soil-plant-animal systems*, 199-212. Ed. D.J.D. Nicholas and A.R. Egan, Academic Press, N.Y.
- BOAWN, L.C., VIETS, F.G. y CRAWFORD, C.L. (1954). "Effect of phosphate fertilizers on zinc nutrition of field beans". Soil Science, 78, 1-7.
- BOHNSACK, C.W. y ALBERT, L.S. (1977). "Early effect of boron deficiency on indoleacetic acid oxidase levels of squash root tips". Plant Physiol., 59, 1047-50.
- BOKEN, E. (1960). "Effect of foliar applied manganese on the concentration of manganese in oat roots". Phytol. Plantarum, 13, 786-92.

- BOLLAND, M.D.A., POSNER, A.M. y QUIRK, J.P. (1977). "Zinc adsorption by goethite in the absence and presence of phosphate". Australian J. Soil Research, 15, 279-86.
- BOLLE-JONES, E.W. (1955a). "The effect of varied nutrient levels on the concentration and distribution of man ganese within the potato plant". Plant and Soil, 6, 45-60.
- BOLLE-JONES, E.W. (1955b). "The interrelationships of -- iron and potassium in the potato plant". Plant and Soil, 6, 129-73.
- BOTTRILL, D.E., POSSINGHAM, J.V. y KRIEDEMANN, P.E. (1970). "The effect of nutrient deficiencies on photosynthe<sub>s</sub>is and respiration in spinach". Plant and Soil, 32, 424-38.
- BOUYOUCOS, G.J. (1951). "A recalibration of the Hydrometer method for making mechanical analysis of soils". Agron. Jour., 43, 434-38.
- BOWEN, J.E. (1969): "Absorption of Cu, Zn and Mn by sugar cane tissue". Plant Physiol., 44, 255-61.
- BOWEN, J.E. y NISSEN, P. (1976). "Boron uptake by excised barley roots. I. Uptake into the free space". Plant Physiol., 57, 353-57.
- BREMNER, J.M. y KNIGHT, A.H. (1970). "The complexes of Zn, Cu and Mn present in ryegrass. Brit. J. Nutr., 24, - 279-90.

- BRENCHLEY, W.E. y WARINGTON, K. (1927). "The role of B in the growth of plants". *Ann. Bot. Lond.*, 41, 167-87.
- BRINDLEY, G.W. y BROWN, G. (1980). "The X-Ray identification and crystal structures of clay minerals". Ed. Mineralogical Society, London.
- BRITISH-COLUMBIA DEPARTEMENT OF AGRICULTURE FIELD CROPS BRANCH (1976). *Boron Soil Ser.*, N<sup>o</sup> 8, 1-6.
- BROWN, A.L., KRANTZ, B.A. y EDDINGS, J.L. (1970). "Zn-P interactions as measured by plant response and soil analysis". *Soil Sci.*, 110 (6), 415-20.
- BROWN, J.C. (1956). "Iron chlorosis". *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 7, 171-90.
- BROWN, J.C. (1961). "Iron chlorosis in plants". En *Advances in Agriculture*, 13, 329-69. Ed. A.G. Norman, Academic Press, N.Y.
- BROWN, J.C. (1965). "Calcium movement in barley and wheat as affected by copper and phosphorus". *Agron. Journal*, 57, 617-21.
- BROWN, J.C. (1972). "Competition between phosphate and the plant for iron from iron ferrozine". *Agronomy Journal*, 64, 240-43.
- BROWN, J.C. (1978). "Mechanism of iron uptake by plants". - *Plant, Cell and Environment*, 1, 249-57.
- BROWN, J.C. (1979a). "Effect of zinc stress on factors ---



- affecting iron uptake in navy bean". *Journal of -- Plant Nutrition* . 1 (2), 171-83.
- BROWN, J.C. (1979b). "Genetic improvement and nutrient uptake in plants". *BioScience*, 29 (5), 289-92.
- BROWN, J.C. y AMBLER, J.E. (1974). "Iron-stress responses in tomato (*Lycopersicon esculentum*). I. Sites of iron reduction, absorption, and transport". *Physiol. Plantarum*, 31, 221-24.
- BROWN, J.C., AMBLER, J.E., CHANEY, R.L. y FOY, C.D. (1972). "Differential responses of plant genotypes to micro nutrients". En *Micronutrients in Agriculture*, 389-418. Ed. J.J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc. Am. Madison/Wisconsin.
- BROWN, J.C. y CLARK, R.B. (1977). "Copper as essential to wheat reproduction". *Plant and Soil*, 48 (2), 509-23.
- BROWN, J.C., CLARK, R.B. y JONES, W.E. (1977). "Efficient and inefficient use of phosphorus by sorghum". *Journal of the Soil Science Society of America*, 41, 747-50.
- BROWN, J.C. y CHANEY, R.L. (1971). "Effect of iron on the transport of citrate into the xylem of soybean and tomatoes". *Plant Physiol.*, 47, 836-40.
- BROWN, J.C. y HENDRICKS, S.B. (1952). "Enzymatic activities as indication of copper and iron deficiencies in plants". *Plant Physiol.*, 27, 651-60.
- BROWN, J.C., HOLMES, R.S. y TIFFIN, L.O. (1958). "Iron chlo

- rosis in soybeans as related to the genotype of -- rootstock". *Soil Sci.*, 86, 75-82.
- BROWN, J.C. y JONES, W.E. (1975). "Heavy-metal toxicity in plants. I. A crisis in embryo". *Commu. Soil Sci. - and Plant Anal.* 6, 421-38.
- BROWN, J.C. y JONES, W.E. (1976). "A technique to determine iron efficiency in plants". *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, 40, 398-405.
- BROWN, J.C. y McDANIEL, M.E. (1978a). "Factors associated with differential response of oat cultivars to iron --- stress". *Crop Science*, 18, 551-56.
- BROWN, J.C. y McDANIEL, M.E. (1978b). "Factors associated with differential response of two oat cultivars to zinc and copper stress". *Crop Science*, 18, 817-20.
- BROWN, J.C. y TIFFIN, L.O. (1965). "Iron stress as related to the iron and citrate occurring in stem exudate". *Plant Physiol.*, 40, 395-400.
- BROWN, J.C., TIFFIN, O.L. y HOLMES, R.S. (1958). "Carbohydrate and organic acid metabolism with C<sup>14</sup> distribution affected by copper in Thatcher wheat". *Plant Physiol.*, 33, 38-42.
- BROWN, T.E., EYSLER, H.C. y TANNER, H.A. (1958). "Physiological effects of manganese deficiency". En *Trace -- Elements*, 135-55. Eds. Lamb., Bentley and Beattie, - Academic Press, N.Y.
- BROYER, T.C. (1971). "Some factors affecting the intensity



- and locus of expression of mineral deficiency and toxicity symptoms by plants". Commun. Soil Sci. -- Plant Anal., 2 (4), 241-48.
- BUBDINE, H.W. y GUZMAN, V.L. (1969). "Nutritional factors affecting nodal cracking of some celery cultivars". Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fla., 29, 351-52.
- BUKHAREVA, G.A. (1960). "Trace elements and red clover". - Pchelovodstvo, 37, 15-7.
- BUKOVAC, M.J. y WITWER, S.H. (1957). "Absorption and mobility of foliar applied nutrients". Plant Physiol., 32, 428-35.
- BURSTRÖM, H. (1939). "Über die Schwermetallkatalyse der Nitratassimilation". Planta, 29, 292-305.
- BURSTRÖM, H.G. (1968). "Calcium and plant growth". Biol. - Rev., 43, 287-316.
- BUSSLER, W. (1960). "Relationship between formation and boron in sunflowers". Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk., 92, 1-14.
- BUSSLER, W. y DOERING, H.W. (1979). "Distribution and solubility of boron in different organs of sunflower -- plants in relation to the boron concentration of -- the nutrient solution". Z. Pflanzenernaehr. Bodenk., 142 (5), 719-30.
- CADAHIA, C., PIÑERO, M.T. y HERNANDO, V. (1976). "Incidencia del boro en la nutrición del cultivo de tomate, rendimiento y calidad de los frutos". 4th. Internatio-

- nal Colloquium on the Control of Plant Nutrition.  
Vol. I, 269-78. Gante.
- CALDWELL, T.H. (1971). "Copper deficiency in crops". En --  
*Trace elements in soils and crops*, 21, 62-72. Tech.  
Bull. Min. of Agric. Fisheries and Food.
- CALVO LOREA, M.C. (1967). "Influencia de los fenómenos de -  
deficiencia sobre la estructura de los plastos". Re-  
vista de la Acad. de Ciencias Exactas, Físico-Quími-  
cas y Naturales de Zaragoza. Serie 2<sup>a</sup>, XXII, 11-39.
- CAMP, A.F., CHAPMAN, H.D., BAHRT, G.M. y PARKER, E.R. (1941).  
"Symptoms of citrus molnutrition". En *Hunger Signs in*  
*Crops*. Ed. G. Hambidge, Am. Soc. of Agron. and Nat.  
Fert. Soc., Washington. D.C.
- CAMP, A.F. y FUDGE, B.R. (1945). "Zinc as a nutrient in --  
plant growth". *Soil Sci.*, 60, 157-64.
- CANDELA, M.I. y HEWITT, E.J. (1957). "Molybdenum as a plant  
nutrient. IX. The effect of different molybdenum and  
manganese supplies on yield and uptake and distribu-  
tion of molybdenum in tomato plants grown in sand --  
culture". *J. Hort. Sci.*, 32, 149-61.
- CARTWRIGHT, B y HALLSWORTH, E.G. (1970). "Effects of copper  
deficiency on root nodules of subterranean clover".  
*Plant and Soil*, 33, 695-98.
- CATESSON, A.M. (1966). "Présence de phytoferritine dans le -  
cambium et les tissus conducteurs de la tige sycomo-  
re *Acer pseudoplatanus*". *C.R. Acad. Sci.*, 262, 1070-  
73.

- C.I.I. (1973). Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. Détermination des éléments Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn par absorption atomique. *Oléagineux*, 28 (2), 87-92.
- CLARK, R.B., TIFFIN, L.O. y BROWN, J.C. (1973). "Organic - acids and iron translocation in maize genotypes". *Plant Physiol.*, 52, 147-50.
- COHEN, M.S. y LEPPER, R. Jr. (1977). "Effect of boron on cell elongation and division in squash roots". *Plant Physiol.*, 59, 884-87.
- COKE, L. y WHITTINGTON, W.J. (1968). "The role of boron in plant growth. IV. Inter-relationships between boron and indolyl-acetic acid in the metabolism of bean - radicles". *J. Exp. Bot.*, 19, 295-308.
- COLWELL, W.E. (1943). "A biological method for determining the relative boron content of soils". *Soil Sci.*, 56, 71-94.
- COLLANDER, R. (1941). "Selective absorption of cations by higher plants". *Plant Physiol.*, 16, 691-720.
- CONSTANTOPOULOS, G. (1970). "Lipid metabolism of manganese-deficient algae. I. Effect of manganese deficiency on the greening and the lipid composition of *Euglena gracilis*". *Plant Physiol.*, 45, 76-80.
- COOPER, H.P. (1941). "Nutrient deficiency symptoms in cotton". *En Hunger Signs in Crops*, 125-45. Ed. G. Hambidge. Am. Soc. of Agron. and Nat. Fert. Soc. Washington, D.C.

- CORNILLON, P. (1977). "Effect de la température des racines sur l'absorption des éléments minéraux par le tomate". *Ann. Agron.*, 28, 409-23.
- CRIPPS, E.G. (1956). "Boron nutrition of the hop". *J. Hort. Sci.*, 31, 25-34.
- CRISP, P., COLLIER, G.F. y THOMAS, T.H. (1976). "The effect of boron on tipburn and auxin activity in lettuce". *Sci. Hortic.*, 5, 215-26.
- CROW, E.L., DAVIS, F.A. y MAXFIELD, M.W. (1960). "Statistics Manual" Dover Publications, Inc. N.Y. Ed. Dep. U.S. Naval Ordnance Test Station.
- CUMAKOV, A. y BABEK, R. (1973). "The effect of boron, copper and molybdenum on the contents of N, P, K, Ca and Mg in lucerne". *Agrochémia*, 13 (8), 222-24.
- CHADLER, F.B. (1944). "Nutrition of brassica and potatoes". *Soil Sci.*, 57, 67-73.
- CHANCE, B. (1952). "The state of catalase in the respiring bacterial cell". *Science*, 116, 202-3.
- CHANCE, B., BONNER, W.D. Jr. y STOREY, B.T. (1968). "Electron transport in respiration". *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 19, 295-316.
- CHANCE, B. y SAN PIETRO, A. (1963). "On the light-induced bleaching of photosynthetic pyridine nucleotide reductase in the presence of chloroplasts". *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.*, 49, 633-38.



- CHANEY, R.L., BROWN, J.C. y TIFFIN, L.O. (1972). "Obligatory reduction of ferric chelates in iron uptake by soybeans". *Plant Physiol.*, 50, 208-13.
- CHAPMAN, H.D. y VANSELOW, A.P. (1955). *Calif. Citogr.*, 40, 455-57.
- CHAUDHRY, F.M. y LONERAGAN, J.F. (1972). "Zinc absorption -- in wheat seedlings: Inhibition by macronutrient ions in short term experiments and its relevance to long term zinc nutrition". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36, 323-27.
- CHENG, K.L. y BRAY, R.H. (1953). "Two specific methods of determining copper in soils and in plant material". *Anal. Chem.*, 25, 655-59.
- CHENIAE, G.M. y MARTIN, J.F. (1970). "Sites of function of manganese within photosystem. II. Roles in oxygen evolution and systems II". *Biochim. Biophys. Acta*, 197, 219-39.
- CHETELAT, ANDREE-ANNE (1978). "Impact des éléments traces sur la croissance des plantes cultivées (une étude bibliographique)". *Schweiz. Landwirtsch. Forsch.*, 17 (3-4), 211-27.
- CHRIST, R.A. (1974). "Iron requirement and iron uptake from various iron compounds by different plant species". *Plant Physiol.*, 54, 582-85.
- DANIELS, R.R., STUCKMEYER, B.E. y PETERSON, L.A. (1972). - "Copper toxicity in *Phaseolus vulgaris* L. as influenu

- ced by iron nutrition. I. An anatomical study". J. Amer. Soc. Hort. Sci., 9, 249-54.
- DAUBENY, E. (1845). Citado por Russell, E.W. (1973). "Soil conditions and plant growth". 10th Edn. Longmans, - London.
- DAVENPORT, H.E. y HILL, R. (1960). "A protein from leaves catalyzing the reduction of hemoprotein compounds by illuminated chloroplasts". Biochem. J., 74, 493-501.
- DAVENPORT, H.E., HILL, R. y WHATLEY, F.R. (1952). "Natural factor catalyzing reduction of methemoglobin by isolated chloroplasts". Proc. Roy. Soc. London, Ser. B., 139, 346-58.
- DAVIS, R.D. y BECKETT, P.H.T. (1978). "Upper critical levels of toxic elements in plants.II. Critical levels of copper in young barley, wheat, rape, lettuce and -- rye-grass, and of nickel and zinc in young barley and rye-grass". New Phytol., 80, 23-32.
- DE BOER, G.J. y REISENAUER, H.M. (1973). "DTPA as an extractant of available soil iron". Commun. Soil Sci. Plan Anal., 4 (2), 121-28.
- DE KOCK, P.C. (1955). "Iron nutrition of plants at high pH". Soil Sci., 79, 167-75.
- DE KOCK, P.C., COMMISSIONG, K., FARMER, V.C. y INKSON, R.H. E. (1960). "Interrelationships of catalase, peroxidase, haematin and chlorophyll". Plant Physiol., 35, 599-604.

- DE KOCK, P.C. y MORRISON, R.I. (1958). "The metabolism of chlorotic leaves. II. Organic acids". *Biochemical Journal*, 70, 272-77.
- DEL RIO, L.A., GOMEZ, M., YAÑEZ, J., LEAL, A. y LOPEZ GORGE, J. (1978). "Iron deficiency in pea plants. Effect on catalase, peroxidase, chlorophyll and proteins of leaves". *Plant and Soil*, 49 (2), 343-53.
- DINGUS, D.D. y KEEFER, R.F. (1968). "Effect of interrelations among the elements zinc, copper, manganese and magnesium on the growth and composition of corn". *Proc. W. Va. Acad. Sci. W. Va.*, 40, 12-8.
- DION, H.G. y MAN, P.J.G. (1946). "Trivalent manganese in soils". *J. Agric. Sci.*, 36, 239-45.
- DOGAR, M.A. y VAN HAI, T. (1980). "Effect of P, N and  $\text{HCO}_3^-$  levels in the nutrient solution on rate of Zn absorption by rice roots and Zn content in plants". *Z. - Pflanzenphysiol.*, Bd. 98, S. 203-12.
- DONALD, C.M. (1963). "Competition among crop and pasture plants". *Advan. in Agron.* vol. 15, 1-118.
- DOKIYA, Y., OWA, N. y MITSUI, S. (1968). "Comparative physiological study of iron, manganese and copper absorption by plants. III. Interaction between Fe, Mn and Cu on the absorption of the elements by rice and barley seedlings". *Soil Sci. Plant Nutr.*, 14 (5), - 169-74.
- DRAGUN, J. BAKER, D.E. y RISIUS, M.J. (1976). "Growth and -

element accumulation by two single cross corn hybrids as effected by copper in solution" *Agronomy Journal*, 68 (3), 466-70.

- DRAKE, M., SIELENG, D.H. y SCARSETH, G.D. (1941). "Calcium-boron ratio as an important factor in controlling - the boron starvation of plats". *J. Am. Soc. Agron.*, 33, 454-62.
- DUGGER, W.M. Jr. y HUMPHREYS, T.E. (1960). "Influence of boron on enzymatic reactions associated with biosynthesis of sucrose". *Plant Physiol.*, 35, 523-30.
- DWIVEDI, K.N. y SHANKER, H. (1977). "Correlation of soil - tests with response of wheat to applied copper". *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 25 (4), 410-13.
- ELGALA, A.M. y ELBAGOURI, I.H. (1972). "Availability of manganese in some soils of Egypt". *Desert Inst. Bull.*, 22 (2), 307-14.
- ERNST, W. (1968). "Der Einpness der Phosphatversorgung sowie die Wirkung von ionogenem und chelatisiertem zink auf die zink und phosphataufnanm hme einiger Schwerz metallpflanzen". *Physiol. Plantarum*, 21, 323-33.
- ESPINONELO, A., BRASIL SOBRINHO, M.O.C. y IGUE, T. (1976). "Evaluation of assimilable boron and response tests to this element by the sunflower biological method in soils cultivated with sugar cane". *Bragantia*, 35 (1), 221-36.
- FAO/UNESCO (1973). "Map of the World". Roma.



- FORESTIER, J. y BELAY, J. (1966). "Sulphur and minor element content of Robustacoffee leaves in Lobay (Central - Africa Republic)". *Café, Cacao, Thé*, 10 (1), 17-27.
- FORNO, D.A., YOSHIDA, S. y ASHER, J. (1975). "Zinc deficiency in rice: I. Soil factors associated with the deficiency". *Plant and Soil*, 42, 537-50.
- FRIDOVICH, I. (1975). "Superoxide dismutases". *Ann. Rev. Biochem.*, 44, 147-59.
- GARCIA PELAYO, J. y BARAHONA, E. (1981). "Programa "MULT". - Comunicación privada.
- GÄRTELL, W. (1974). "The micronutrients-their importance for the nutrition of grapes with particular regard to deficiency and toxicity symptoms". *Weinberg U. Keller*, 21, 435-507.
- GAUCH, H.G. (1972). "Inorganic plant nutrition". Dowden Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, PA, USA.
- GAUCH, H.G. y DUGGER, W.M. (1954). "The physiological action of boron in higher plants: A review and interpretation". *Agr. Exp. Sta. Maryland Tech. Bull. A* , 80.
- GEERING, H.R., HODGSON, J.F. y SDANO, C. (1969). "Micronutrient cation complexes in soil solution: IV. The chemical state of manganese in soil solution". *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33, 81-5.
- GEMMEL, R.P. (1972). "Use of waste materials for revegetation of chromate smelter waste". *Nature*, UK 240 -- (5383), 569-71.

- GEREBTZOFF, A. y RAMAUT, J.L. (1970). "Histochemical localization and toxicity of zinc in *Hordeum vulgare*". *Physiol. Plant*, 23, 574-82.
- GERLOFF, G.C., STOUT, P.R. y JONES, L.H.P. (1959). "Molybdenum-manganese-iron antagonisms in the nutrition of tomato plants". *Plan Physiol.*, 34, 608-13.
- GIORDANO, P.M., MAYS, D.A. y BEHEL, A.D. (1979). "Soil temperature effects on uptake of cadmium and zinc by - vegetables grown on sludge-amended soil". *J. Environ. Qual.*, 8 (2), 233-36.
- GIORDANO, P.M. y MORTVEDT, J.J. (1974). "Response of several rice cultivars to zinc". *Agron. J.*, 66, 220-23.
- GIORDANO, P.M. y MORTVEDT, J.J. (1978). "Response of corn to zinc in ortho- and pyrophosphate fertilizers, as affected by soil temperature and moisture". *Agron. J.*, 70, 531-34.
- GIORDANO, P.M. y MORTVEDT, J.J. (1980). "Zinc uptake and accumulation by agricultural crops". En *Zinc in environment. Part. II: Health effects*, 401-14. Ed. J.O. Nriagu. A Wiley-Interscience Publication. J. Wiley and - Sons. N.Y.
- GIORDANO, P.M., NOGGLE, J.C. y MORTVEDT, J.J. (1974). "Zinc uptake by rice as affected by metabolic inhibitors - and competing cations". *Plant and Soil*, 41, 637-46.
- GISIGER, L. (1950). "Deficiencies of minor elements caused by excesses". En *Trace elements in Plant Physiology*, 3, 19-30.

- GOPAL, N.H. (1975). "Physiological studies in pea ut plants with B toxicity. III. Effect on chlorophyll, Fe and Cu metabolism". Turrialba, 25 (3), 306-15.
- GORSLINE, G.W., THOMAS, W.I. y BAKER, D.E. (1965). "Accumulation of eleven elements by field corn". Penn. State - Univ. Exp. Stn. Bull., 746.
- GRASSI, R.L., DIEZ, A.L. y ACEBAL, S.G. (1980). "Comportamiento del EDTA, CDTA y DTPA como agentes de extracción de elementos menores en suelos". Agrochim., 24 (1), 78-87.
- GRAVES, C.J. (1978). "Uptake and distribution of copper in *Chrysanthemum morifolium*". Ann. Bot., 42, 117-25.
- GREENWOOD, M. y DJOKOTO, R.K. (1952). "Symptoms of mineral deficiency in cacao". J. Hort. Sci., 27, 233-36.
- GREWAL, J.S. y TREHAN, S.P. (1979). "Micronutrients for potatoes". Fertiliser News, 24 (8), 27-30.
- GUNDERSON, O., BEZDICEK, D. y MacGREGOR, J. (1965). "Zinc - deficiency corn in of Minnesota". Univ. of Minnesota - Ext. Bull. No. 322, St. Paul, Minn. 4.
- GUNSALUS, I.C., PEDERSEN, T.C. y SLIGAR, S.G. (1975). "Oxygenase catalysed biological hydroxylations." Ann. Rev. - Biochem., 44, 317-40.
- GUPTA, U.C. (1968). "Relationship of total and hot-water-soluble boron, and fixation of added boron, to properties of podzol soils". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32, - 45-48.

- GUPTA, U.C. (1971). "Boron and molybdenum nutrition of wheat barley, and oats grown in Prince Edward Island soils". *Can J. Soil Sci.*, 51, 415-22.
- GUPTA, U.C. (1972a). "Interactions effects of boron and lime on barley". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36, 332-34.
- GUPTA, U.C. (1972b). "Effects of boron and lime on boron concentration and growth of forage legumes under greenhouse conditions". *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 3, 355-65.
- GUPTA, U.C. (1972c). "Influence of manganese and pH on chemical composition, brozing of leaves and yield of carrots grown on acid Sphagnum peat soil". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34 (5), 762-64.
- GUPTA, U.C. (1972d). "Effects of manganese and lime on yield and on the concentrations of manganese, molybdenum, boron, copper and iron in the boot stage tissue of barley". *Soil Science*, 114 (2), 131-36.
- GUPTA, U.C. (1977). "Effects of boron limestone on cereal yields and on B and N concentration of plant tissue". - *Plant and Soil*, 47, 283-87.
- GUPTA, U.C. (1979). "Boron nutrition of crops". *Advances in Agronomy*, vol. 31, 273-307.
- GUPTA, U.C. y CUTCLIFFE, J.A. (1972). "Effects of lime and boron on brown-heart, leaf tissue calcium/boron ratios and boron concentrations of rutabaga". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36, 936-39.

- GUPTA, U.C. y CUTCLIFFE, J.A. (1973). "Boron nutrition of broccoli Brussels sprouts, and cauliflower grown on Prince Edward Island soils". *Can. J. Soil Sci.*, 53, - 275-79.
- GUPTA, U.C. y CUTCLIFFE, J.A. (1975). "Boron deficiency in cole crops under field and greenhouse conditions". - *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 6 (2), 181-88.
- GUPTA, U.C. y MACKAY, D.C. (1965). "Procedure for the determination of exchangeable copper and molybdenum in podzol soils". *Soil Sci.*, 101, 93-7.
- GUPTA, U.C. y MacLEOD, L.B. (1970). "Response to copper - and optimum levels in wheat, barley and oats under - greenhouse and field conditions". *Can. J. Soil Sci.*, 50, 373-78.
- GUPTA, U.C. y MacLEOD, J.A. (1977). "Influence of calcium and magnesium sources on boron uptake and yield of - alfalfa and rutabaga as related to soil pH". *Soil -- Sci.*, 124, 279-84.
- GUPTA, U.C., MacLEOD, J.A. y STERLING, J.D.E. (1976). "Ef-  
fects of boron and nitrogen on grain yield and boron and nitrogen concentrations of barley and wheat". -- *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40, 723-26.
- GUPTA, U.C., STERLING, J.D.E. y NASS, H.G. (1973). "In---  
fluence of various rates of compost and nitrogen on the boron toxicity symptoms in barley and wheat". *Can. J. Plant Sci.*, 53, 451-56.

- GUPTA, S.K. y STEWART, J.W.B. (1975). "Extraction and determination of plant available boron in soils". ---- Schweiz. Landwirtsch. Forsch., 14 (2-3), 153-69.
- GUPTA, S.K. y STEWART, J.W.B. (1978). "An automated procedure for determination of boron in soils, plants and irrigated waters". Schweiz. Landwirtsch. Forsch., 17 (1-2), 51-5.
- HALLSWORTH, E.G., WILSON, S.B. y GREENWOOD, E.A.N. (1960). "Copper and cobalt in nitrogen fixation". Nature, 187, 79-80.
- HAMMES, J.K. y BERGER, K.C. (1960). "Chemical extraction - and crop removal of manganese from air-dried and moist soils". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 24, 361-64.
- HAQ, A.U. y MILLER, M.H. (1972). "Prediction of available soil zinc, copper and manganese using chemical extractants". Agron. J., 64 (6), 779-82.
- HARA, T., SONODA, Y. y IWAI, I. (1976). "Growth response - of cabbage plants to trace elements under water culture conditions (preliminary report)". Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ., (39), 117-28.
- HARASZTI, E. (1972). "Effect of trace elements and NPK - fertilizer application on quantity and quality of - yield of lucerne". Takarmánybázis, 12 (1), 57-69.
- HAWORTH, F. (1952). "A note on boron deficiency of brassicae on St. Coombs". Tea Quart , 23, 86.

- HEALY, W.B., CHENG, S. y McELROY, W.D. (1955). "Metal toxicity and Fe deficiency effects on enzymes in Neurospora". Arch. Biochem. Biophys., 54, 206-14.
- HEINTZE, S.G. (1968). "Manganese-phosphate reaction in - aqueous systems and the effects of applications of -  $(\text{PO}_4\text{H}_2)_2\text{Ca}$  on the availability of Mn to oats in an - alkaline fen soil". Plant and Soil, 29 (3), 407-23.
- HEM, J.D. (1963). "Chemical equilibria and rates of manganese oxidation". U.S. Geol. Survey Water Supply Paper, 1667-A, 64.
- HENDERSON, J.H.M. y VEAL, M.P. (1948). "The effect of the interrelationships of boron and manganese on the --- growth and calcium uptake of blue lupinus (*Lupinus - angustifolius* L.) in solution culture". Plant Physiol. 23, 609-20.
- HERAS, L. (1961). "Potencial de óxido-reducción en clorosis férrica inducida". E.E. de Aula Dei 6 (3-4), 136-65.
- HEWITT, E.J. (1944). "Experiments in mineral nutrition". - Progress Report. I. Long Ashton Research Sta. Ann. - Rept., 1943, 33-47.
- HEWITT, E.J. (1945). "Experiments in mineral nutrition". - Progress Report. 2. Long Ashton Research Sta. Ann. -- Rept., 1944, 50-60.
- HEWITT, E.J. (1946). "Experiments in mineral nutrition". -

Progress Report 3. Long Ashton Research Sta. Ann. -  
Rept., 1945, 44-50.

- HEWITT, E.J. (1963). "The essential nutrient elements: - Requirements and interactions in plant". En *Plant - Physiology*, III, 137-60. Ed. Steward, Academic Press N.Y.
- HEWITT, E.J. (1970). "Physiological and biochemical factors which control the assimilation of inorganic nitrogen supplies by plants". En *Nitrogen nutrition of the Plant*, 78-103 Ed. E.A. Kirkby. The University -- Leeds.
- HIATT, A.J. y EVANS, H.J. (1960). "Influence of certain cations on activity of acetic thiokinase from spinach leaves". *Plant Physiol.*, 35, 673-77.
- HILLS, F.J. y ULRICH, A. (1976). "Plant analysis as a guide for the mineral nutrition of sugar beets". En *Soil and plant-tissue testing in California*, 18-21 Ed. H. M. Reisenauer. Div. Agric. Sci. Univ. of California Bull., 1876.
- HILL-COTTINGHAM, D.G. y LLOYD-JONES, C.P. (1958). "Behaviour of iron chelates in calcareous soils". *Plant - and Soil*, 9, 189-201.
- HINGSTON, F.J. (1964). "Reactions between boron and clays". *Aust. J. Soil Res.*, 2, 83-95.
- HO, V.L. y GAMMON, N. (1976). "Effect of chelation agent,



- chelate concentration shaking time, and pH of extracting solution on the removal of copper, zinc, manganese and iron from Apopka fine sand". Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc., 35, 96-8.
- HOANG, CH.S., IM, H.B. y LIM, U.K. (1979). "On the appearance of B deficiency in sugar beet, *Beta vulgaris* - L. by the control of soil acidity". Sikmul Hokhoe -- Chi., 22 (1-2), 21-7.
- HODENBERG, A. von y FINCK, A. (1975). "Ermittlung von Toxizitäts-Grenz-Werten für Zink, Kupfer, und Blei in Hafer und Rotklee". Z. Pflanzernern. Bodenkunde, Heft. 45, 489-503.
- HODGSON, J.F. (1963). "Chemistry of the micronutrient elements in soils". En *Advances in Agronomy*, vol. 15, 119-59. Ed. A.G. Norman. Academic Press. New York.
- HODGSON, J.F., GEERING, H.R. y NORVELL, W.A. (1965). "Micronutrient cation complexes in soil solutions; Partition between complexed, and uncomplexed forms by solvent extraction". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 29, -665-69.
- HODGSON, J.F., LINDSAY, W.L. y TRIERWILER, J.F. (1966). - "Micronutrient cation complexing in soil solution. II. Complexing of zinc and copper in displacing solution from calcareous soils". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 30, 723-26.

- HOLEVAS, C.D. (1976). "Potassium-boron relationship in olive nutrition". 4th Int. Collo. on the Control of Plant Nutrition, vol. II, 167-75, Gante.
- HOLMES, R.S. y BROWN, J.C. (1955). "Chelates as correctives for chlorosis". *Soil Sci.*, 80, 167-79.
- HOLLEY, R.W. y CAIN, J.C. (1955). "Accumulation of arginine in plants afflicted with iron-deficiency type chlorosis". *Science*, 121, 172-73.
- HOMANN, P.H. (1967a). "Studies on the manganese of the chloroplasts". *Plant Physiol.*, 42, 997-1007.
- HOMANN, P.H. (1967b). "The activity of chloroplasts in relation to their structure and manganese content". *Plant Physiol.*, 42, S-35.
- HOMANN, P.H. y SCHMID, G.H. (1967). "Photosynthetic reactions of chloroplasts with unusual structures". *Plant Physiol.*, 42, 1619-32.
- HORIO, T. y YAMASHITA, T. (1963). "The nature of photosynthetic pyridine nucleotide reductase (methemoglobin reducing factor) from spinach, and phosphorylation coupled with its photoreduction". *Biochem. Z.*, 338, 526-36.
- HUDSON, J.P. (1957). "The study of plant responses to soil moisture". En *Control of the plant environment*, 113-23. Ed. J.P. Hudson, Butterworth, Londres.
- HUNDT, I., SCHILLING, G., FISCHER, F. y BERGMANN, W. (1970). "Investigation on the influence of the micronutrient - boron on nucleic acid metabolism". *Thaer-Arch.*, 14, 725-37.

- HYDE, B.B., HODGE, A.J., KAHN, A. y BIRNSTIEL, M.L. (1963). "Studies in phytoferritin. I. Identification and localization". J. Ultrasturct. Res., 9, 248-58.
- IGNATOV, G. y DECHEV, G. (1969). "Role of some one and two-valence ions in the lighth-induced oxygen absorption - by isolated chloroplasts". Delkl. Bolg. Akad. Nauk., 22 (12), 1429-32.
- IIZUKA, T. (1975). "Interaction among nickel, iron and zinc in mulberry trees grown on serpentine soil". Soil Science and Plant Nutrition, 21 (1), 47-55.
- ILJIN, W.S. (1943). "Biochemical processes during lime chlorosis of white lupines". Ber. Deut. Botan. Ges., 61, 138-48.
- ILJIN, W.S. (1951). "Metabolism of plants affected with lime induced chlorosis (calciöse). I. Nitrogen metabolism". Plant and Soil, 3, 239-56.
- INDEN, T. (1975). "Minor elements for vegetables". ASPAC Food Fert. Technol. Cent. (Asiam Pac. Council) Ext. Bull., 55, 1-20.
- ISHIZUKA, Y. (1978). "Nutrient deficiencies of crops". Food and Fert. Tech. Center, No 1, 1-100.
- ISHIZUKA, Y. y ANDO, T. (1968). "Interaction between manganese and cinc in growth of rice plants". Soil Sci. Plant Nutr., 14(5), 201-6.
- IYENGAR, S.S., MARTENS, D.C. y MILLER, W.P. (1981a). "Determination of copper and zinc in soil extracts by atomic

absorption spectrophotometry using ADPC-MIBK solvent extraction". *Soil Sci.*, 131 (2), 95-9.

IYENGAR, S.S., MARTENS, D.C. y MILLER, W.P. (1981b). "Distribution and plant availability of soil zinc fractions". *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, 45 (4), 735-39.

JACKSON, J.F. y CHAPMAN, K.S.R. (1975). "The role of boron in plants." En *Trace elements in soil-plant-animal systems*, 213-25. Ed. D.J.D. Nicholas and A.R. Egan. Academic Press, N.Y.

JACKSON, W.A., WILLIAMS, D.C., LAUDENCIA, P.N. y CARSON, E. W. Jr. (1964) (Pub. 1967). "Effects of phosphorus nutrition on manganese uptake and transport in wheat seedlings". *Trans. Int. Congr. Soil Sci.* 8th, Bucharest, 4, 165-79.

JACOBSON, B.S., FONG, F. y HEATH, R.L. (1975). "Carbonic -- anhidrase of spinach. Studies on its location, inhibition and physiological function". *Plant Physiol.*, 55, 468-74.

JACOBSON, L. y OERTLI, J.J. (1956). "The relation between -- iron and chlorophyll contents in chlorotic sunflower leaves". *Plant Physiol.*, 31, 199-204.

JIMENEZ, F. (1974). "Inhibición de semillas de girasol en soluciones de boro". Tesina de Licenciatura, Ciencias Biológicas, Univ. de Granada.

JIMENEZ, F. (1977). "Efectos producidos por el pretratamiento de semillas de girasol (*H. annuus* L.) con boro". Tesis Doctoral, Ciencias Biológicas, Univ. de Granada.

- JOHNSON, D.L. y ALBERT, L.S. (1967). "Effect of selected - nitrogen bases and boron on the ribonucleic acid content, elongation and visible deficiency symptoms in to mato root tips". Plant Physiol., 42, 1307-9.
- JOHNSON, G.V. y YOUNG, R.A. (1973). "Evaluation of EDDHA as an extraction and analytical reagent for assessing the iron status of soils". Soil Sci., 115 (1), 11-7.
- JOHNSTON, E.S. y DORE, W.H. (1929). "The influence of boron on the chemical composition and growth of the tomato - plant". Plant Physiol., 4, 31-62.
- JOHRI, B.M. y VASIL, I.K. (1961). "Physiology of pollen". - Bot. Rev., 27, 325-81.
- JONES, J.B. Jr. (1970). "Distribution of 15 elements in corn leaves". Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1, 27-34.
- JONES, J.B. Jr. (1975). "Greenhouse tomato nutrition" Natt. Fert. Dev. Cent. Bull., 4, 93-5.
- JONES, W.W., EMBLETON, T.W., BOSWELL, S.B., STEINACHER, M.L., LEE, B.M. y BARNHART, E.L. (1963). "Nitrogen control - programme for orange and high sulfate and(or) high boron". Calif. Citrogr., 48, 128-29.
- JONES, H.E. y SCARSETH, G.D. (1944). "The calcium-boron balance in plants as related to boron needs". Soil Sci., 56, 15-24.
- JUSTICE, O.L. (1952). "Agriculture Handbook". U.S. Department of Agriculture, 30, 89-90.

- JYUNG, W.H., EHMANN, A., SCHLENDER, K.K. y SCALA, J. (1975). "Zinc nutrition and starch metabolism in *Phaseolus vulgaris* L.". *Plant Physiol.*, 55, 414-20.
- KAR, S. y MOTIRAMANI, D.P. (1976). "Potassium/boron relations in plants nutrition". *Indian Soc. Soil Sci. Bull.*, 10, 99-102.
- KARKI, A.B., PRADHAN, S.B. y MAHARJAN, P.L. (1974). "Influence of molybdenum, lime and phosphorus and their interactions on the yield and chemical composition of soybean". *Révue d' Ecologie et de Biologie du Sol*, 11, 249-55.
- KATOH, S., IKULO, S., SHIRATORI, I. y TAKAMUJA, A. (1961). "Distribution of plastocyanin in plants, with special reference to its location in chloroplasts". *Arch. Biochem. Biophys.*, 94, 136-41.
- KATOH, S. y TAKAMIYA, A. (1963). "Photochemical reactions of plastocyanin in chloroplasts". En *Photosynthetic mechanism of green plants*, 262-72. Eds. B. Kot, A.T. Jagendorf. *Natt. Acad. Sci., Natt. Res. Council, Publ. 1145*, Washington.
- KEILIN, D. (1925). "On cytochrome, a respiratory pigment, common to animals, yeasts and higher plants". *Proc. Roy. Soc. B* 89, 312-39.
- KEISTER, D.L. y SAN PIETRO, A. (1963). "Photoreduction of cytochrome c by chloroplasts". *Arch. Biochem. Biophys.*, - 103, 45-53.
- KELLEMAN, V.V. y TSURUPA, I.G. (1967). "Methods for determi-

- ning available elements in soil". *Agrokhyimiya*, 6, 101-6.
- KHAN, F.R. y CORNFIELD, A.H. (1968). "The direct determination of iron in soil extracts by atomic absorption spectrophotometry". *Plant and Soil*, 29 (1), 189-92.
- KIBALENKO, A.P., KHOMLYAK, M.N. y VELIKAYA, S.L. (1973). "Role of boron in nitrogen metabolism and protein -- synthesis in plants". *Dopov. Akad. Nauk. Ukr. R.S.R., Ser. B*, 35 (5), 457-63.
- KLIMOVITSKAYA, Z.M., LOBANOVA, Z.I. y PROKOPIVNYUK, L.M. (1968). "Byosynthesis of RNA, DNA and protein in -- plants in relation to phosphorus and manganese nutrition". *Mikroelem. Sel. Khoz. Med.*, No 4, 33-43.
- KLUGE, R. (1971). "Contribution to the problem of drought-induced boron deficiency of agriculture crops". *Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd*, 15, 749-54.
- KOTER, M. y BARDZICKA, B. (1972). "Effect of trace-element fertilizers on the productivity and quality of meadow hay". *Roczniki Gleboznawcze*, 23 (2), 217-32.
- KORONOWSKI, P. (1961). "Anatomical changes in maize and cereals with boron deficiency". *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd*, 94, 53-66.
- KOUCHI, H. y KUMAZAWA, K. (1976). "Anatomical responses of root tips to boron deficiency. III. Effect of boron deficiency on sub-cellular structure of root tips, particularly on morphology of cell wall and its related or-

- ganelles". *Soil Sci. Plant Nutr.*, 22 (1), 53-71.
- KRAHMER, R. y WITTER, B. (1974). "Extraction of available copper in carbonate soils by means of dilute nitric acid". *Arch. Ackerpflanzenbau Bodenkd*, 18 (7), 517-28.
- KRAUSKOPF, K.B. (1972). "Geochemistry of micronutrients". *Micronutrients in Agriculture*, 7-40. Ed. J.J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wis.
- KROSING, M. (1978). "Influence of boron deficiency and destruction of the apical meristem on the cell division in sunflowers". *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd*, 141, -- 641-54.
- LACHICA, M. (1967). "Análisis foliar. Estudio de la labor preparativa de la muestra". *Agrochim. XI* (2), 132-39.
- LACHICA, M. (1976). "Análisis foliar. Estudio sobre la determinación de boro en plantas con Azometina-H". Comunicación presentada al IV Colloque International sur le controle de l'alimentation des plantes cultivées. Gantes.
- LAKANEN, E. y ERVIO, R. (1971). "A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils". *Acta Agr. Fenn.*, 123, 223-32.
- LANGIN, E.J., WARD, R.C., OLSON, R.A. y RHOADES, H.F. (1962). "Factors responsible for poor response of corn and -



- grain sorghum to phosphorus fertilization. II. Lime and phosphorus placement effects on phosphorus-zinc relations". *Soil Sci. Soc. A. Proc.*, 26, 574-78.
- LEA, R., BALLARD, R. y WELLS, C.G. (1980). "Amounts of nutrients removed from forest soils by two extractants and their relationship to *Pinus taeda* foliage concentrations". *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 11 (10), -957-67.
- LEE, S. y ARONOFF, S. (1967). "Boron in plants: A biochemical role". *Science*, 158, 798-99.
- LEHNINGER, A.L. (1975). "Biochemistry, the molecular basis of cell structure and function". Worth Publishers, Inc. N.Y.
- LINDSAY, W.L. (1972a). "Inorganic phase equilibria of micro nutrients in soils". En *Micronutrients in Agriculture*, 41-57. Ed. J.J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wis.
- LINDSAY, W.L. (1972b). "Zinc in soils and plant nutrition". En *Adv. in Agron.*, 24, 147-86. Ed. N.C. Brady. Academic Press. N.Y.
- LINDSAY, W.L. (1978a). "Chemical reactions affecting the availability of micronutrients in soils". En *Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils*, 153-67. Ed. C.S. Andrew and E.J. Kamprath. - CSIRO, Australia.

- LINDSAY, W.L. (1978b). "Chemical equilibria in soils". Wiley-Interscience, N.Y. Comunicación privada.
- LINDSAY, W.L. y NORVELL, W.A. (1969). "Equilibrium relationships of  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  and  $H^+$  with EDTA and DTPA in soils". Soil Sci. Am. Proc., 33, 62-8.
- LINDSAY, W.L. y NORVELL, W.A. (1978). "Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper". Soil Sci. Soc. Am. J., 42 (3), 421-28.
- LINGLE, J.C., TIFFIN, L.O. y BROWN, J.C. (1963). "Iron uptake-transport of soybeans as influenced by other cations". Plant Physiol., 38, 71-6.
- LIPMAN, C.B. y MACKINNEY, G. (1931). "Proof of the essential nature of copper for higher green plants". Plant Physiol., 6, 593-99.
- LÖHNIS, M.P. (1950). "Histology of symptoms of boron deficiency in plants". Mededel. Landbouwhogeschool Wageningen, 44, 3-36.
- LÖHNIS, M.P. (1960). "Effect of magnesium and calcium supply on the uptake of manganese by various crop plants". Plant and Soil, 12, 339-76.
- LONERAGAN, J.F. (1968). "Nutrient requirements of plants". Nature, 220, 1307-8.
- LONERAGAN, J.F. (1975). "The availability and absorption of trace elements in soil-plant systems and their relation to movement and concentration of trace elements

in plants". En *Trace elements in soil-plant-animal systems*, 109-34. Ed. D.J.D. Nicholas and A.R. Egan. Academic Press, N.Y.

LONERAGAN, J.F. (1977). "Plant efficiencies in the use of boron, cobalt, copper, manganese and zinc". En *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*, 193-252. Ed. M.J. Wright. Cornell Univ. Ithaca. N.Y.

LONERAGAN, J.F. (1978). "Anomalies in the relationship of nutrient concentration to plant yield". En *Plant nutrition-1978*. 283-98. Proc. 8th Int. Coll. on Plant Analysis and Fertilizers Problems. Ed. A.R. Ferguson, R.L. Bielecki and I.B. Ferguson. New Zealand.

LONERAGAN, J.F., GROVE, T., ROBSON, A.D. y SNOWBALL, K. -- (1979). "Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43 (5), 966-72.

LONERAGAN, J.F., SNOWBALL, K. y ROBSON, A.D. (1976). "Remobilization of nutrients and its significance in plant nutrition". En *Transport and transfer processes in plants*, 463-69. Ed. J.F. Wardlaw and J.B. Passioura. Academic Press, N.Y.

LONERAGAN, J.F., SNOWBALL, K. y ROBSON, A.D. (1980). "Copper supply in relation to content and redistribution of copper among organs of the wheat plant". *Ann. Bot.*, 45, 621-32.

- LOSADA, M. y GUERRERO, M.G. (1979). "The photosynthetic reduction of nitrate and its regulation". En *Photosynthesis in relation to model systems*, 365-408. Ed. J. Barber. Elsevier/North-Holland Biomedical Press.
- LOSADA, M., PANEQUE, A., RAMIREZ, J.M. y DEL CAMPO, F.F. - (1963). "Mechanism of nitrite reduction in chloroplasts". *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 10, 298-303.
- LUCAS, R.E. y KNEZEK, B.D. (1972). "Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants". En *Micronutrients in Agriculture*, 265-88. Ed. J.J. - Mortvedt, P.M. Giordano and W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc. of Am. Madison, Wisconsin.
- MAAS, E.V., MOORE, D.P. y MASON, B.J. (1969). "Influence of calcium and magnesium on manganese absorption". *Plant Physiol.*, 44 (6), 796-800.
- MacCOOL, M.M. (1935). "Effect of light intensity on the manganese content of plants". *Contribs. Boyce Thompson Inst.*, 7, 427-37.
- MacILRATH, W.J. y BRUYIN, J.A. (1956). "Calcium-boron relationships in Siberian Millet". *Soil Sci.*, 81, 301-10.
- MacINNES, C.B. y ALBERT, L.S. (1969). "Effect of light intensity and plant size on rate of development of -- early boron deficiency symptoms in tomato root tips". *Plant Physiol.*, 44, 965-67.
- MacMURTRY, J.E. Jr. (1941). "Plant nutrient deficiency in

tobacco". En *Hunger signs in crops*, 15-24. Ed. G. Hambidge, American Society of Agronomy and National Fert. Soc. Washington.

- MALKIN, R., MALMSTROM, B.G. y VANNGUARD, T. (1969). "Spectroscopic differentiation of the electron-accepting sites in fungal laccase. Association of a near-ultraviolet band with a two electron-accepting unit". *Eur. J. Biochem.*, 10 (2), 324-29.
- MANN, M.S., TAKKAR, P.N., BANSAL, R.L. y RANDAWA, N.S. (1978). "Micronutrient status of soil and yield of maize and wheat as influenced by micronutrient and farmyard manure application". *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 26 (2), 208-14.
- MARSCHNER, H., KALISCH, A. y RÖMHELD, V. (1974). "Mechanism of iron uptake in different plant species". En *Plant Analysis and Fertilizer Problems*, vol. II, 273-81. - Ed. J. Wehrman, German Society of Plant Nutrition, - Hannover, Germany.
- MARSCHNER, H., RÖMHELD, V. y AZARABADI, S. (1978). "Iron -- stress response of efficient and inefficient plant - species". En *Plant Nutrition-1978*, 319-27. Proceeding of the 8th international Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems, Auckland, New Zealand.
- MARSH, H.V., EVANS, H.J. y MATRONE, G. (1963a). "Investigations of the role of iron in chlorophyll metabolism.

- I. Effect of iron deficiency on chlorophyll and Haeme content and the activities of certain enzymes in leaves". *Plant Physiol.*, 38, 632-38.
- MARSH, H.V., EVANS, H.J. y MATRONE, G. (1963b). "Investigations of the role of iron in chlorophyll metabolism. II. Effect of iron deficiency on chlorophyll synthesis". *Plant Physiol.*, 38, 638-42.
- MARINOS, N.G. (1967). "Multifunctional plastids in the meristematic region of potato tuber buds". *J. Ultrastruct. Res.*, 17, 91-113.
- MASKELL, E.J., EVANS, H. y MURRAY, D.B. (1953). "The symptoms of nutritional deficiencies in cacao produced in sand and water cultures". En *Report on Research on Cocoa (1945-51)*, 54-64. Imperial College Tropical Agriculture, Trinidad.
- MASSEY, V. (1958). "Role of iron in beef-heart succinic dehydrogenase". *Biochem. Biophys. Acta*, 30, 500-9.
- MASUY, M., NUKAYA, A., ISHIDA, A. y OGURA, T. (1980). "Manganese excess of muskmelon. VI. Manganese distribution in plant parts". *Engei Gakkai Zasshi*, 49 (1), 79-84.
- MATHUR, S.P., HAMILTON, H.A. y PRESTON, C.M. (1979). "The influence of variation in copper content of an organic soil on the mineral nutrition of oats grown in situ". *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 10, (11), 1399-1409.
- MATSUDA, K. (1968). "Absorption and translocation of trace elements by citrus plants. I. Absorption and translo-

cation of manganese, zinc and iron applied in several forms to young citrus plants, and the effect of several phosphorus levels". Nippon Dojo-Hiryogaku Zasshi, 39 (7), 354-58.

MAZEPIN, K.G. y ABRAMOV, I.G. (1975). "The effect of spraying the seed crop with solutions of trace elements on the chemical composition of the seed clusters of two-seeded sugar-beet". Agrokimiya, No 7, 117-20.

MCCORD, J.M., KEELE, B.B. y FRIDOVICH, I. (1971). "An enzyme based theory of obligate anaerobiosis: The physiological function of superoxide dismutase". Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 68, 1024-27.

McGEORGE, W.T. (1946). "Modified Neubauer method for soil cultures". Soil Sci., 62, 61-70.

McGEORGE, W.T. (1948). "Micro and macro nutrient interrelations in lime-induced chlorosis". Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 13, 200-4.

MEHROTRA, O.N. y MISRA, P.H. (1974). "Micronutrient deficiencies in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*)". Prog. Hortic., 5, 33-9.

MELSTED, S.W., MOTTO, H.L. y PECK, T.R. (1969). "Critical plant nutrient composition values useful in interpreting Plant Analysis Data". Agron. J., 61, 17-20.

MENGEL, K. y KIRKBY, E.A. (1979). "Principles of plant nutrition". Ed. International Potash Institute. Berne. Switzerland.

- MERCER, F.V., NITTIM, M. y POSSINGHAM, J.V. (1962). "The effect of manganese deficiency on the structure of spinach chloroplasts". *J. Cell. Biol.* 15, 379-81.
- METODOS ANALITICOS (1969). "Métodos analíticos de la Estación Exptal. del Zaidin. Suelos". Sin publicar.
- MEYER, J.H. (1978). "Micronutrient studies in sugarcane with special reference to zinc". *Fer. Society of South Africa Journal*, 1, 61-8.
- MEYER, R.D. y MARTIN, W.E. (1976). "Plant analysis as a guide for fertilization of alfalfa" en *Soil and Plant-tissue testing in California*, 26-9. Ed. H.M. Reisenauer, Div. Agric. Sci. Univ. of Calif. Bull. No. 1879.
- MICHAEL, G., WILBERG, E. y KOUHSIAHI-TORK, K. (1969). "Boron deficiency induced by high air humidity". *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 122, 1-3.
- MIKKELSEN, D.S. y KUO, S. (1977). "Zinc fertilization and behaviour in flooded soils". Commonwealth Bureau of Soils, Spec. Publ., 5, 59
- MILJKOVIC, N.S., MATTHEWS, B.C. y MILLER, M.H. (1966). "The available boron content of the genetic horizons of some Ontario soils. I. The relationship between water-soluble boron and other soils properties". *Can. J. Soil - Sci.*, 46, 133-38.
- MILLER, G.W., BROWN, J.C. y HOLMES, R.S. (1960). "Chlorosis in soybean as related to iron, phosphorus, bicarbonate



and cytochrome oxidase activity". *Plant Physiol.*, 35, 619-25.

- MILLER, L.P. y FLEMION, F. (1973). "The role of minerals in phytochemistry". En *Phytochemistry. Inorganic elements and Special groups of chemicals*, vol. III, 1-40. Ed. L. P. Miller, Van Nostrand Reinhold Company, London.
- MILLIKAN, C.R. (1953). "Nutritional disorders in subterranean clover". Dept. Agr. Victoria Tech. Bull., 11.
- MISHRA, B. y TRIPATHI, B.R. (1973). "Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on the availability of native and applied manganese to wheat". *J. Agric. Sci. Camb.*, 81 (3), 369-73.
- MISRA, S.G., PANDE, P. y ALLAHABAD, A. (1974). "Evaluation of a suitable extractant for available iron in soils". *Indian J. Agric. Sci.*, 44 (12), 865-70.
- MITCHELL, R.L. y BURRIDGE, J.C. (1979). "Trace elements in soils and crops". *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B 288, 15-24.
- MOLINERO, A. (1978). "Absorción radical y foliar del Fe a partir de arcilla-Fe". Tesina de licenciatura, Univ. de Granada.
- MOORE, D.P. (1972). "Mechanisms of micronutrient uptake by plants". En *Micronutrients in Agriculture*, 171-98. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison.

- MORGAN, P.W., JOHAM, H.E. y AMIN, J.V. (1966). "Effect of manganese toxicity on the indole-acetic acid oxidase system in cotton". *Plant Physiol.*, 41, 718-24.
- MORTVEDT, J.J. y GIORDANO, P.M. (1975). "Response of corn - to zinc and chromium in municipal wastes applied to soil". *Journal of Environment Quality*, 4 (2), 170-74.
- MORTVEDT, J.J. y OSBORN, G. (1965). "Boron concentration - adjacent to fertilizer granules in soil and its effect on root growth". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29, 187-91.
- MUNNS, D.N., JOHNSON, C.M. y JACKSON, L. (1963). "Uptake and distribution of manganese in oat. I. Varietal variations". *Plant and Soil*, 19, 115-26.
- MURAVIN, E.A. y ZHURAVLEVA, S.V. (1970). "Interaction of -- phosphorus, molybdenum and copper in the process of plant nutrition". *Izv. Timiryazev. Séc. Khoz. Akad.* No. 4, 92-100.
- MUTLU, S. (1977). "Function of copper in plant metabolism - and copper deficiency in soil". *Tech. J. Ankara Nucl. Res. Train. Cent.*, 4, (1), 10-18.
- NASON, A. y McELROY, W.D. (1963). "Modes of action of essential mineral elements". En *Plant Physiology*. vol. III, 451-522. Ed. F.C. Steward. Academic Press, N.Y.
- NATR, L. (1972). "Influence of mineral nutrients on photosynthesis of higher plants". *Photosynthetica*, 6, 80-99.
- NAYYAR, V.K., RANDHAWA, N.S. y PASRICHA, N.S. (1980). "Effect

- of interaction between molybdenum and copper on the concentration of these nutrients in berseen and its yield". *Indian J. Agr. Sci.*, 50 (5), 434-40.
- NEALES, T.F. (1960). "Some effect of boron on root growth". *J. Biol. Sci.*, 13, 232-48.
- NEELAKANTAN, V. y MEHTA, B.V. (1961). "Evaluation of methods of measuring available copper in Kaira district (Gujarat)". *J. Indian Soc. Sci.*, 9, 393-97.
- NEILANDS, J.B. (1957). "Some aspects of microbial iron metabolism". *Bacteriol. Rev.*, 21, 101-11.
- NEILANDS, J.B. (1974). "Iron and its role in microbial physiology". En *Microbial iron metabolism*, 1-34. Ed. J. B. Neilands, Academic Press, N.Y.
- NEISH, A.C. (1939). "Studies on chloroplasts". *Biochem. J.*, 33, 300-8.
- NICHOLAS, D.J.D. (1975). "The functions of trace elements in plants". En *Trace elements in soil-plant-animal systems*, 180-98. Ed. D. J.D. Nicholas and A.R. Egan. Academic Press, N.Y.
- NIJENSOHN, L. (1973). "Relaciones suelo-planta en la clorosis férrica y sus implicaciones agronómicas". *Rev. - Facul. Ciencias Agrarias*, XIX (1-2), 147-76.
- NIJENSOHN, L., GUIMARD, F., SORIA, R. y PIOTTI, A. (1969). - "Clorosis de álamos en Santiago del Estero". Corporación del Río Dulce. No publicado. Comunicación privada.

- NOACK, K. y LIEBICH, H. (1941). "Die tisengarnitur der Chlo<sub>ro</sub>plasten von Spinat". *Naturwiss.*, 29, 302.
- NORRISH, K. (1975). "Geochemistry and mineralogy of trace elements". En *Trace elements in soil-plant-animal systems*, 55-81. Ed. D.J.D. Nicholas and A.R. Egan. Academic Press, N.Y.
- NORVELL, W.A. y LINDSAY, W.L. (1969). "Reactions of EDTA - complexes of iron, zinc, manganese and copper with soils". *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33, 86-91.
- NORVELL, W.A. y LINDSAY, W.L. (1978). "Estimation of iron (III). Solubility from EDTA chelate equilibria in soils". *Soil Sci. Soc.*, 42, 43-51.
- NUSBAUM, C.J. (1947). *Phytopathology*, 37, 435.
- OADES, J.M. (1963). "The nature and distribution of iron -- compounds in soils". *Soil and Fertilizer*, 26, 69-80.
- ODOM, J.W. (1980). "Kinetics of the hot water soluble boron soil test". *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 11, (7), 759-65.
- ODHNOFF, C. (1957). "Boron deficiency and growth". *Physiol. Plantarum*, 10, 984-1000.
- OERTLI, J.J. (1963). "The influence of certain environmental conditions on water and nutrient uptake and nutrient distribution in barley seedlings with special reference to boron". En *Avancing Frontiers Plant Sciences*, 6,

55-85. Ed. L. Chandra, Inst. for the Advancement of Science and Culture, New Delhi.

OERTLI, J.J. y RICHARDSON, W.F. (1970). "The mechanism of boron immobility in plants". *Plant Physiol.*, 42, -- 1171-75.

OKAZAKI, E. y CHAO, T.T. (1968). "Boron adsorption and desorption by some Hawaiian soils". *Soil Sci.*, 105, 255-59.

OKUDA, A. y TAKAHASHI, I. (1964). "The role of silicon". En *Mineral Nutrition of the Rice Plant*. Chap. 10, 123-46. Proc. Intern. Conf. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines, Feb., 1964. Johns Hopkins Press, Baltimore.

OLIVARES, J., BAREA, J.M., AGUILAR, A. y CALLAO, V. (1972). "Manganese reduction by microbial inoculation. Effect of the addition to the soil of different kinds of organic matter". *Semaine d'étude des problèmes méditerranéennes*. Gembloux (Belgique). *Compte rendu des séances*, 166-68.

OLIVER, S. y BARBER, S.A. (1966a). "Evaluation of the mechanism governing the supply of Ca, Mg, K and Na soybean roots (*Glycine max*)". *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30, (1), 82-6.

OLIVER, S. y BARBER, S.A. (1966b). "Mechanism for the movement of Mn, Fe, B, Cu, Zn, Al and Sr from one soil - to the surface of soybean roots (*Glycine max*)". *Soil*

- Sci. Amer. Proc., 30 (4), 468-70.
- OZANNE, P.G. (1955). "The effect of nitrogen on zinc deficiency in subterranean clover". Aust. J. Biol. Sci., 8, 47-55.
- OZOLINA, G. y LAPINA, L. (1965). "Effect of copper and nitrogen nutrition of maize and flax on dynamics nucleic acids". Microélem. Prod. Rast., 75-102.
- PAGE, E.R., SCHOFIELD-PALMER, E.K. y MCGREGOR, A.J. (1962). "Studies in soil and plant manganese. I. Manganese in soil and its uptake by oats". Plant and Soil, 16 (2), 238-46.
- PALAVEEV, T., PATARINSKI, N., IKONOMOVA, E. y BAROV, V. -- (1975). "Investigation of maize nutrition with iron, manganese, zinc and other elements in pot experiments with calcareous chernozem soil". Pochovoznanie i - Agrokhimiya, 10 (2), 64-73.
- PANEQUE, A., DEL CAMPO, F.F. y LOSADA, M. (1963). "Nitrite reduction by isolated chloroplasts in light". Nature, 198, 90-1.
- PANIN, M.S. (1974). "Comparison of methods for the extraction of available forms of copper and cobalt". Agrokhimiya, 5, 136-39.
- PATHAK, A.N., KRISHNA, S. y TIWARI, K.N. (1972). "Correlations between phosphorus, iron and manganese availability in water-logged soils at different fertility levels". J. Indian Soc. Soil Sci., 20, 385-89.

- PEASLEE, D.E. y LEGGET, J.E. (1980). "Utilization of seed zinc by *Zea mays* seedlings". Commun. in Soil Science and Plant Analysis, 11 (3), 223-29.
- PERUR, N.G., SMITH, R.H. y WIEBE, H.H. (1961). "Effect of iron chlorosis on protein fractions of corn leaf". Plant Physiol., 36, 736-39.
- PETERSON, L.A. y NEWMAN, R.C. (1976). "Influence of soil pH on the availability of added boron". Soil Sci. Soc. Am. J., 40, 280-82.
- PIPER, C.S. (1941). "Marsh spot of peas: a manganese deficiency disease". J. Agr. Sci., 31, 448-53.
- PIRSON, A. (1937). "Ernährungs-und Stoffwechsel-physiologische Untersuchung und Fontinalis und Chlorella". Z. Botan., 31, 193-267.
- PIRSON, A., TICHY, C. y WILHELMI, G. (1952). "Metabolism - and mineral nutrition of one-celled green algae. I. The effects of deficiencies on cultures of *Ankistrodesmus*". Planta, 40, 198-253.
- POSSINGHAM, J.V. (1956). "Mineral nutrition and amino acids in tomato". Aust. J. Biol. Sci., 9, 539-51.
- POSSINGHAM, J.V. (1964, Pub. 1967). "Effect of manganese - deficiency on photosynthesis". Trans., Ins. Congr. Soil Sci., 8th, Bucharest. (Acad. Soc. Rep. Rom.: Bucharest, Rom.), 4, 1287-92.
- POSSINGHAM, J.V., VESK, M. y MERCERI, F.V. (1964). "The fi

- ne structure of leaf cells of manganese deficient spinach". *J. Ultrastructure Res.*, 11, 68-83.
- PRASAD, K.G., SHUKLA, U.C. y SAFAYA, N.M. (1971). "Effect of zinc application on phosphorus concentration - and uptake in maize (*Zea mays* L.)". *Ind. J. Ag. Sc.*, 41 (12), 1068-73.
- PRICE, C.A. (1968). "Iron compounds and plant nutrition". *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 19, 239-48.
- PRICE, C.A., CLARK, H.E. y FUNKHOUSER, H.E. (1972). "Functions of micronutrients in plant". En *Micronutrients in Agriculture*, 731-42. Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin.
- PURVES, D. y MacKENZIE, E.J. (1973). "Effects of applications of municipal compost on uptake of copper, - zinc and boron by garden vegetables". *Plant and Soil*, 39, 361-71.
- PURVIS, E.R. y CAROLUS, R.L. (1964a). "A review". En *Hunger Signs in Crops. A Symposium*, 226-69. Ed. H. B. Sprague. Ann. Soc. of Agron. and Nat. Fert. Soc., Washington, D.C.
- PURVIS, E.R. y CAROLUS, R.L. (1964b). "A review". En *Hunger Signs in Crops. A Symposium*, 295-336. Ed. H. B. Sprague, 3<sup>a</sup> ed., McKay, N.Y.
- RAINS, D.W. (1976). "Mineral metabolism". En *Plant biochemistry*, 561-97. Ed. Bonner, J. and J.E. Varner, - Academic Press. N.Y.





- RANDALL, P.J. y BOUMA, D. (1973). "Zinc deficiency, carbonic anhydrase, and photosynthesis in leaves of spinach". *Plant Physiol.*, 52, 229-32.
- RANDHAWA, N.S., DEB, D.L., TAKKAR, P.N. y PASRICHA, N.S. - (1979). "Phosphorus micronutrient interaction in soils and plants". *Bull. Indian Soc. Soil Sci.*, 12, 58-72.
- RAVIKOVITCH, S., MARGOLIN, M. y NAVROT, J. (1968). "Zinc - availability in calcareous soils. I. Comparison of chemical extraction methods for estimation of plant-available zinc". *Soil Sci.*, 105 (1), 57-61.
- REEVE, E. y SHIVE, J.W. (1943). "K-B relations in plants". *Better Crops Plant Food*, 27 (4), 14-6, 45-8.
- REEVE, E. y SHIVE, J.W. (1944). "Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition". *Soil Sci.*, 57, 1-14.
- REDISKE, J.H. y BIDDULPH, O. (1953). "The absorption and - translocation of iron". *Plant Physiol.* 28, 576-93.
- REHM, S. (1937). "Der Einfluss der Borsäure auf Wachstum - und Salzaufnahme von 'Impatiens Balsamina'". *Jb. -- Wiss. Bot.*, 85, 788-814.
- REISENAUER, H.M., WALSH, L.M. y HOEFT, R.G. (1973). "Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine". *En Soil Testing and Plant Analysis*, 173-200. Ed. L. M. Walsh and J.D. Beaton. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wisconsin, USA.

- REUTHER, W. y LABANAUSKAS, C.K. (1966). "Copper". En *Diagnostic criteria for plants*. Ed. Univ. California, Agric. Pub., Berkeley, U.S.
- RINGLER, R.L. (1961). "Mitochondrial  $\alpha$ -glicerophosphate-dehydrogenase. II. Extraction and partial purification of the dehydrogenase from pig brain". *J. Biol. Chem.*, 236, 1192-97.
- RINNE, R.W. y LANGSTON, R.G. (1980). "Effect of growth on redistribution of some mineral elements in peppermint". *Plant Physiol.*, 35, 210-15.
- ROBERTSON, L.S. y LOUGHMAN, B.C. (1974a). "Reversible effects of boron on the absorption and incorporation of phosphate in *Vicia faba* L.". *New Phytol.*, 73, 291-98.
- ROBERTSON, G.A. y LOUGHMAN, B.C. (1974b). "Response to boron deficiency. Comparison with responses produced by chemical methods of retarding root elongation". *New Phytol.*, 73, 821-32.
- ROBINSON, R.G. (1978). "Production and culture". En *Sunflower Science and Technology*. Agronomy, 19, 89-143. Ed. J.F. Carter.
- ROBSON, A.D. y LONERAGAN, J.F. (1970). "Sensitivity of annual *Medicago* species to manganese toxicity as affected by calcium and pH". *Aust. J. Agric. Res.*, - 21 (2), 223-32.
- ROGERS, C.H. y SHIVE, J.W. (1932). "Factors affecting the distribution of iron in plants". *Plant Physiology*,

7, 227-52.

- ROMERO, L. y AGUILAR, A. (1981). "Relationship between molybdenum and iron in lucerne plants". En *Int. Symposium Iron and Interactions in Plants*, Provo, Utah, USA ( en prensa).
- ROMNEY, E.M. y TOTH, S.J. (1954). "Plant and soil studies with radioactive manganese". *Soil Sci.*, 77, 107-17.
- ROTH, J.A., WALLIHAN, E.F. y SHARPLESS, R.G. (1971). "Uptake by oats and soybeans of copper and nickel added to a peat soil". *Soil Science*, 112 (5), 338-42.
- SAGLIO, P. (1969). "Iron nutrition of grapes". *Ann. Physiol.*, v<sup>o</sup>g. XI: 27-35.
- SALAMI, U.A. y KENEFICK, D.G. (1970). "Stimulation of growth in zinc deficient corn seedlings by the addition of tryptophan". *Crop. Sci.*, 10, 291-94.
- SALCEDO, I.H., ELLIS, B.G. y LUCAS, R.E. (1979). "Studies in soil manganese. I. Factors affecting manganese extractability". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43 (1), - 135-38.
- SAL-HORSTMAN, Le Prince de (1849). "Versuche über die notwendigen Aschenbestandtheile einer Pflanzen Species" (Referencia en Twyman 51), *J. Prakt. Chem.*, 46, 193.
- SAN PIETRO, A. y BLACK, C.C. (1965). "Enzymology of energy conversion in photosynthesis ". *Ann. Rev. Plant Phy*

siol., 16, 155-74.

SCHARRER, K. y SCHAUMLÖFFEL, E. (1960). "The uptake of copper by spring cereals grown on copper deficient soils". Z. Pflanzennähr. Dung. Bodenkd., 89, 1-17.

SCHLICHTING, E. (1973). "Methods for determining plant-available copper". Agrochim., 7 (6), 531-19.

SCHMUCKER, T. (1934). "Influence of boron acid on plants in - particular on the germination of pollen". Planta, 23, 264-83.

SCHMID, W.E., HAAG, H.P. y EPSTEIN, E. (1965). "Absorption - of zinc by excised barley roots". Physiol. Plant., 18, 860-69.

SCHNITZER, M. y SKINNER, S.I.M. (1963). "Organo-metallic interactions in soils: II. Reactions between different forms of iron and aluminum and the organic matter of a podzol BH horizon". Soil Sci., 96, 181-86.

SCHWERTMANN, U. (1977). "Iron oxides". En *Mineral in soil - environments*. Ed. J.B. Dixon y S.B. Weed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.

SHERSTNEV, E.A. y KURILENOK, G.V. (1964). "Effect of boron on the quantitative content of free amino acids and on the incorporation of tyrosine <sup>14</sup>C into the pro-- teins in sunflower". Bot. Zh. Leningrad, 49 (5), -- 699-702.

SHIVE, J.W. (1941). "Significant role of trace elements in the nutrition of plants". Plant Physiol., 16, 435-45.

- SHKOLNIK, M. Ya. (1955). "Rôle physiologique du bore chez les plantes". En *Analyse des plantes et problèmes des fumées minérales*, 69-89. Ed. T. Wallace, Paris.
- SHKOLNIK, M. Ya. (1974). "General conception of the physiological role of boron in plants". *Physiol. Rastanii*, 21, 140-50.
- SHORROCKS, V.M. (1974). "Boron deficiency-its prevention and cure". Borax Consolidated Ltd., London, 56.
- SHUMAN, L.M. (1980). "Zinc in soils". En *Zinc in the environment. Part I : Ecological cycling*, 39-69. Ed. J.O. -- Nriagu. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons. N. Y.
- SHUMAN, L.M. y ANDERSON, O.E. (1974). "Evaluation of six extractants for their ability to predict manganese concentrations in wheat and soybeans". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38 (5), 788-90.
- SIDERIS, C.P. y YOUNG, H.J. (1949). "Growth and chemical composition of *Ananas comosus* (L.) Merr. in solution cultures with different iron-manganese ratios". *Plant Physiol.*, 24, 416-40.
- SIDERIS, C.P. y YOUNG, H.J. (1956). "Pineapple chlorosis in relation to iron and nitrogen". *Plant Physiol.*, 32, -- 211-22.
- SIMPSON, J.R. y LIPSETT, J. (1973). "Effects of surface moisture supply on the subsoil nutritional requirements of lucerne (*Medicago sativa*)". *Aust. J. Agric. Res.* 24 (2), 199-209.

- SINGER, T.P. y MASSEY, V. (1957). "Experimental foundations - of the concept of metal-flavoproteins catalysis". Record Chem. Progr., 18, 201-44.
- SINGH, D.V., CHAUHAN, R.P.S. y CHARAN, R. (1976). "Safe and toxic limits of boron for gram in sandy loam and clay loam soils". Indian J. Agron., 21 (3), 309-10.
- SINGH, S. y SINGH, L. (1976). "Distribution of copper in some soils of Vindhyan region of Mirzapur". Indian J. Agric. Chem., 9 (1-2), 189-94.
- SISLER, E.C., DUGGER, W.M. y GAUCH, H.G. (1956). "The role of boron in the translocating of organic compounds in -- plants", Plant Physiol., 31, 11-7.
- SKOK, J. (1957). "The substitution of complexing substances - for boron in plant growth". Plant Physiol., 32, 308-12.
- SLACK, C.R. y WHITTINGTON, W.J. (1964). "Role of boron in plant growth. III. Effects of differentiation and deficiency on radicle metabolism". J. Exp. Bot., 15, 495-514,
- SMITH, F.W. (1972). "Foliar symptoms of nutrient disorders in *Panicum maximum* var. *trichoglume* cv. *Petrie*". C.S.I.R. O. Aust. Div. Trop. Agron. Tech. Pap., No 9, 1-10.
- SMITH, F.W. (1973). "Foliar symptoms of nutrient disorders in *Chloris gayana*". C.S.I.R.O. Aust. Div. Trop. Agron. -- Tech. Pap. No 13, 1-9.
- SMITH, F.W. (1974). "Foliar symptoms of nutrient disorders in *Cenchrus ciliaris*". C.S.I.R.O. Aust. Div. Trop. Agron.

Tech. Pap., No 16, 1-10.

SMITH, P.F. (1962). "Mineral analysis of plant tissues". Ann. Rev. Plant Physiol., 13, 81-108.

SMITHSON, J.B. y HEATHCOTE, R.G. (1976). "A new recommendation for the application of boronated superphosphate to cotton in north eastern and benue plateau states". Samaru.Agric. Newsl., 18 (1), 59-63.

SOIL CONSERVATION SERVICE (1972). "Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples". - USD. Agr. Washington D.C., U.S.A.

SOLTANPOUR, P.N. (1969). "Effect of nitrogen, potassium and zinc placement on yield and composition of potatoes". Agron. J., 61, 288-89.

SOLTANPOUR, P.N. y SCHWAB, A.P. (1977). "A new soil test for simultaneous extraction of macro-and micronutrient in alkaline soils". Commun. Soil Sci. Plant Anal., 8 (3), 195-207.

SOMERS, I.I. y SHIVE, J.W. (1942). "The iron-manganese relation in plant metabolism". Plant Physiol., 17, 582-602.

SOMERS, I.I., GILBERT, S.G. y SHIVE, J.W. (1942). "The iron-manganese ratio in relation to the respiratory CO<sub>2</sub> - and deficiency-toxicity symptoms in soybeans". Plant Physiol., 17, 317-20.

SOMMER, A.L. (1931). "Copper as an assential element for plant growth". Plant Physiol., 6, 339-45.

- SPENCER, D. y POSSINGHAN, J.V. (1960). "The effect of nutrient deficiencies on the Hill reaction of isolated chloroplasts from tomato". *Aust. J. Biol. Sci.*, 13, 441-55.
- SPRATT, E.D. y SMID, A.E. (1978). "Yield and elemental composition of flax as affected by phosphorus and micronutrients". *Agron. J.*, 70, 633-38.
- SPURR, A.R. (1957). "The effect of boron on cell-wall structure in celery". *Amer. J. Bot.*, 44, 637-50.
- STANIER, R. (1960). "Carotenoid pigments: Problems of synthesis and function". En *The harvey lectures*, 219-55. Academic Press Inc., N.Y.
- STANTON, D.A. y BURGER, R. du T. (1967). "Availability to --- plants of zinc sorbed by soil and hydrous iron oxides". *Geoderma*, 1, 13-17.
- STASHAUSKAYTE, S.A. y NAVAITENE, G.S. (1973). "Interaction -- between copper and phosphorus in the mineral nutrition of plants". *Sel'skokhozyaistvennaya/Biologiya*, 8 (3), 389-94.
- STEENBJERG, F. (1951). "Yield curves and chemical plant analysis". *Plant and Soil*, 3, 97-109.
- STEINER, A.A. (1961). "A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition". -- *Plant and Soil* XV (2), 134-54.
- STEVENSON, F.J. y ARDAKANI, M.S. (1972). "Organic matter reactions involving micronutrients in soils". En *Micronutrients in Agriculture*, 79-114. Ed. J.J. Mortvedt, P.



- M. Giordano and W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin.
- STILES, W. (1945). "Trace elements in plants and animals", - 94-6. Ed. W. Stiles, London.
- STILES, W. (1958). "Essential micro-(trace) elements". En *Encyclopedia of Plant Physiol.*, VI: 558-614. Ed. W. Ruhland, Springer-Verlag-Berlin.
- STOYANOV, D.V. (1971). "Conditions for the boron nutrition - of tabaco in Bulgaria". *Pochvozn. Agrochim.*, 6, 99-107.
- SULLIVAN, L.J. (1972). "The problems of increasing nutrient - concentration in fertilizers-micronutrients (trace - elements)". *Phosphorus in Agriculture*, No 60, 1-14.
- SUTTON, C.D. y HALLSWORTH, E.G. (1958). "Studies on the nutri - tion of forage legumes. I. The toxicity of low pH and high manganese supply to lucerne as affected by cli - matic factors and calcium supply". *Plant and Soil*, 9, 305-17.
- SWAINE, D.J. (1955). "The trace element content of soils". - *Soil Sci. Techn. Commun.*, No 48. Herald Printing -- Works, Coney St., York, England.
- SWANBACK, T.R. (1939). "Studies on antagonistic phenomena and cation absorption in tobacco in the presence and ab - sence of manganese and boron". *Plant Physiol.*, 14, - 423-46.
- SYWOROTKIN, G.S. (1958). "The boron of plants with a latex -

- system". Spurenelemente in der Landwirtschaft, 283-88. Akademie-Verlag, Berlin.
- TAGAWA, K. y ARNON, D.I. (1962). "Ferredoxins as electron carriers in photosynthesis and in the biological production and consumption of hydrogen gas". *Nature*, 195, 537-47.
- TAKKAR, P.N., MANN, M.S. y RANDHAWA, N.S. (1973). *Indian Farming*, 23 (9), 5-8.
- TAKKAR, P.N. y RANDHAWA, N.S. (1978). "Micronutrients in Indian agriculture". *Fert. New*, 23 (8), 3-26.
- TANAKA, A., TADANO, T. y FUJIYAMA, H. (1975). "Comparison of adaptability of crop plants to heavy metals. I. Adaptability to manganese comparative plant nutrition". *J. Sci. of Soil and Manure, Japan (Nippon Dojohiryogaku Zasshi)*, 46 (10), 425-30.
- TANAKA, H. (1966). "Response of *Lemna pausicostata* to boron as affected by light intensity". *Plant and Soil*, 25, 425-34.
- TANAKA, H. (1967a). "Boron absorption by crop plants affected by other nutrients of the medium". *Soil Sci. Plant Nutr.*, 13, 41-4.
- TANAKA, H. (1967b). "Boron requirement of higher plants as affected by light intensity". *J. Sci. Soil Manure*, 37, 563-67.
- TAPER, C.D. y LEACH, W. (1957). "Plant mineral nutrition. -- III. The effects of calcium concentration in culture

solutions upon the absorption of iron and manganese - by dwarf kidney bean". *Can. J. Botany*, 35, 773-77.

- TAYLOR, D.M., MORGAN, P.W., JOHAM, H.E. y AMIN, J.V. (1968). "Influence of substrate and tissue manganese on the IAA-oxidase system in cotton". *Plant Physiol.*, 43, 243-47.
- THOMAS, F. y SCHILLING, G. (1972). "Extraction of plant-available copper by oxalate as compared with the nitric acid method according to Westerhoff, with special reference to soils containing calcium carbonate". *Arch. Ackerpflanzenbau Bodenkd.*, 16 (7), 511-20.
- THORNE, D.W. (1957). "Zinc deficiency and its control". En - *Advances in Agronomy*, vol. 9, 31-65. Ed. A.G. Norman, Academic Press, N.Y.
- THORNE, D.W. y WALLACE, A. (1944). "Some factors affecting chlorosis in high lime soils . I. Ferrous and ferric iron". *Soil Sci.*, 57, 299-12.
- TERMAN, G.L., GIORDANO, P.M. y ALLEN, S.E. (1972). "Relationship between dry matter yields and concentration of zinc and phosphorus in young corn plants". *Agron. J.*, 64, 684-87.
- TEWARI, S.N., DAS, M. y DEKA, A.K. (1969). "Iron-manganese interrelations in soil and plant". *J. Inst. Chem., Calcuta*, 41 (R.4), 135-37.
- TIFFIN, L.O. (1966a). "Iron translocation. I. Plant culture, exudate sampling, iron-citrate analysis". *Plant Phy-*

- siol., 41, 510-14.
- TIFFIN, L.O. (1966b). "Iron translocation. II. Citrate/iron ratios in plant stem exudates". *Plant Physiol.*, 41, 515-18.
- TIFFIN, L.O. (1967). "Translocation of manganese, iron, cobalt and zinc in tomato". *Plant Physiol.*, 42, 1427-32.
- TIFFIN, L.O. (1970). "Translocation of iron citrate and phosphorus in xylem exudate of soybean". *Plant Physiol.*, 45, 280-83.
- TIFFIN, L.O. (1972). "Translocation of micronutrient in plants". *En Micronutrients in Agriculture*, 199-229. Ed. J.J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.L. Lindsay. S. Sci. Am., Incorporated, Madison, Wisconsin.
- TOWNSEND, G.R. y WEDGWORTH, H.H. (1936). "A manganese deficiency affecting beans". *Fla. Agr. Expt. Sta. Bull.*, 300, -23.
- TRIERWEILLER, J.F. y LINDSAY, W.L. (1969). "EDTA-ammonium carbonate soil test for zinc". *Proc. Soil Sci. Am.*, 33, 49-54.
- TSUI, C. (1948). "The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant". *Amer. J. Bot.*, 35, 172-79.
- TURNER, M.A. (1973). "Effect of cadmium treatment on cadmium and zinc uptake by selected vegetable species". *Journal of Environmental Quality*, 2 (1), 118-19.
- TWYMAN, E.S. (1951). "The iron and manganese requirements of plants". *New Phytol.*, 50, 210-26.

- VALLEE, B.L. y WACKER, W.E.C. (1970). "Metalloprotein". En *The proteins*, vol. 5, 192. Ed. H. Neurath. Academic Press, N.Y.
- VAN DE VENTER, H.A. y CURRIER, H.B. (1977). "The effect of boron deficiency on callose formation and  $^{14}\text{C}$  translocation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cotton (*Gossypium hirsutum* L.)". *Am. J. Bot.*, 64, 861-65.
- VASIL, I.K. (1964). "Effect of boron on pollen germination and pollen tube growth". En *Pollen Physiology and Fertilization*. Ed. H.F. Linskens, North-Holland, Amsterdam.
- VELTRUP, W. (1977). "The uptake of copper by barley roots in the presence of zinc". *Z. Pflanzenphysiol. Bd.*, 83 S, 201-5.
- VELTRUP, W. (1979). "The effect of  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  on the uptake of copper by intact barley roots". *Z. Pflanzenphysiol Bd.*, 93 S, 1-9.
- VENKAT-RAJU, J. y MARSCHNER, H. (1972). "Regulation of iron uptake from relatively insoluble iron compounds by sunflower plants". *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.*, 133, 227-41.
- VESK, M. , POSSINGHAM, J.V. y MERCER, F.V. (1966). "The effect of mineral nutrient deficiencies on the structure of the cells of tomato, spinach, and maize". *Austral. J. Bot.*, 14, 1-18.
- VIETS, F.G. y BOAWN, L.C. (1965). "Zinc". En *Methods of soil analysis*, 1090-101. Ed. C. A. Black, Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis.

- VLAMIS, J. y WILLIAMS, D.E. (1962). "Ion competition in manganese uptake by barley plants". *Plant Physiol.*, 37, 650.
- VLAMIS, J. y WILLIAMS, D.E. (1970). "Comparative accumulation of manganese and boron in barley tissues". *Plant and Soil*, 33, 623-28.
- WADLEIGH, C.H. y BROWN, J.W. (1952). "The chemical status of bean plants afflicted with bicarbonate-induced chlorosis". *Bot. Gaz.*, 113, 373-92.
- WALL, J.R. y ANDRUS, C.F. (1962). "Inheritance and physiology of boron response in the tomato". *Am. J. Bot.*, 49, 758-62.
- WALLACE, A. (1975). "Movement of micronutrients to plant roots, their uptake and translocation". En *Isotope-Aided Micro nutrient Studies in Rice Production with Special Reference of Zinc Deficiency*, 115-40. International Atomic Energy Agency, IAEA-172, Vienna, Austria.
- WALLACE, A. y col. (1976). "Iron deficiency in plants and its correction". *Commun. Soil Sci. and Plant Analysis*, 7, 1-127.
- WALLACE, A. y LUNT, O.R. (1960). "Iron chlorosis in horticultural plants". *Ann. Review Amer. Soc. Hort. Sci. Proc.*, 75, 819-41.
- WALLACE, A. y MUELLER, R.T. (1973). "Effects of chelated and non chelated cobalt and copper on yields and microelement composition of bush bean grown on calcareous soil in a glasshouse". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37 (6), 907-8.

- WALLACE, A. y MUELLER, R.T. (1980). "Effect of iron levels on trace metal stress bush bean plants grown in solution culture". J. of Plant Nutrition, 2 (1-2), 99-102.
- WALLACE, A., MUELLER, R.T., CHA, J.W. y ALEXANDER, G.V. (1974). "Soil pH, excess lime, and chelating agent on micronutrients in soybeans and bush beans". Agron. J., 66, (5), 698-700.
- WALLACE, A., MUELLER, R.T. y ALEXANDER, G.V. (1976). "High levels of four heavy metals on the iron status of plants". Commun. in Soil Sc. and Plant Analysis, 7 (1), 43-6.
- WALLACE, A. y ROMNEY, E.M. (1977). "Synergistic trace metal effects in plants". Comm. Soil Sci. and Plant Analysis, -- 8 (9), 699-707.
- WALLACE, A., ROMNEY, E.M. y KINNEAR, J. (1977). "Frequency distribution of several trace metals in 72 corn plants grown together in contaminated soil in a glasshouse". Com. Soil - Sc. and Plant Analysis, 8 (9), 693-97.
- WALLACE, T. (1928). "Leaf scorch of fruit trees". J. Pomol. Hort. Sci., 6, 243-81 y 7, 1-31.
- WALLACE, T. (1961). "The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms (A colour Atlas and Guide)". Her Majesty's Stationery Office, London.
- WALLIHAN, E.F. (1976). "Tissue tests for iron". Bull. Div. Ag. Sc. Univ. Calif., No 1879, 32-4.
- WALLIHAN, E.F. y BRADFORD, G.R. (1977). "Simplified methods for inducing micronutrient deficiencies". Hort Science, 12 (4), 327-28.

- WAPAKALA, W.W. (1972). "A note on copper deficiency symptoms of some field crops". East Afr. Agric. For. J., 38, 211-13.
- WARINGTON, K. (1940). "The growth and anatomical structure of the *Daucus carota* as affected by boron deficiency". Ann. Appl. Biol., 27, 176-83.
- WARNOCK, R.E. (1970). "Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus-induced zinc deficiency". Soil Sci. Am. Proc., 34, 765-69.
- WATERS, R.L. (1973). "Comparision of zinc uptake by two inbred lines and ten corn hybrids as influenced by zinc and lime applications". Dissertation Abs. International, B 33, (7), 2897.
- WEAR, J.I. y PATTERSON, R.M. (1962). "Effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26, 344-46.
- WEBLEY, D.M. y DUFF, R.B. (1965). "The incidence in soils and other habitats of microorganisms producing  $\alpha$ -ketogluconic adic". Plant and Soil, 22, 307-13.
- WEIER, T.E. y BENSON, A.W. (1967). "The molecular organisation of chloroplasts membranes". Am. J. Botany, 54, 389-402.
- WEINSTEIN, L.H. y ROBBINS, W.R. (1955). "The effect of different iron and manganese nutrient levels on the catalase and cytochrome oxidase activities of green and albino sunflower leaf tissues". Plant Physiol., 30, 27-32.
- WEISS, M.G. (1943). "Genetics", 28, 253-68. Citado por Epstein -



and Jeffries, 1964.

- WELKIE, G.W. y MILLER, G.W. (1960). "Iron nutrition of *Nicotiana tabacum* L. in relation to riboflavin, riboflavin-5-phosphate and flavin adenine dinucleotide content". *Plant -- Physiol.*, 35, 516-20.
- WHALE, K.W.J. y DAVIES, N.T. (1977). "Involvement of copper in microsomal mixed-function oxidase reactions: a review". *J. Sci. Fd. Agric.*, 28, 93-7.
- WHITTINGTON, W.J. (1957). "The role of boron in plant growth. I. The effect on general growth, seed production and cytological behaviour". *J. Exp. Botany*, 8, 353-67.
- WHITTINGTON, W.J. (1959a). "The role of boron in plant nutrition". *Resp. School Agric. Univ. Nottingham*, 51-3.
- WHITTINGTON, W.J. (1959b). "The role of boron in plant growth. II. The effect on growth of the radicle". *J. Exp. Botany*, 10, 93-103.
- WILKINSON, B. (1957). "Boron in the glasshouse tomato plant". *Nature*, 180, 666.
- WILKINSON, S.R. y GROSS, C.F. (1967). "Macro- and micronutrient - distribution within clover (*Trifolium repens*)". *Agron. J.*, 59 (4), 372-74.
- WILLIAMS, D.E. y VLAMIS, J. (1957). "The effect of silicon on -- yield and manganese-54 uptake and distribution in the leaves of barley plants grown in culture solutions". *Plant Physiol.*, 32, 404-9.
- WITTWER, S.H. y TEUBNER, F.G. (1959). "Foliar absorption of mine

- ral nutrients". *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 10, 13-32.
- WOLF, B. (1940). *Soil Sci.*, 50, 209-17.
- WOLF, B. (1971). "Determination of boron in soil extracts, plant material, composts, manures, water and nutrient solutions". *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2 (5), 363-74.
- WOOD, J.G. y WOMERSLEY, H.B.S. (1946). "Development and metabolism of copper deficient oat plants". *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.*, 24, 79-94.
- WOOLEY, J.T. y BROYER, T.C. (1957). "Foliar symptoms of deficiencies of inorganic elements in tomato". *Plant Physiol.*, - 32, 148-51.
- WUESCH, A., AMBERGER, A. y GUTSER, R.C. (1978). "Heavy metal uptake of different cultivated plants in pots from a soil with a high copper level". *Landwirtsch. Forsch., Sonderh.*, 35, 326-34.
- YAMAGUCHI, M., HOWARD, F.D. y MINGES, P.A. (1958). "Brow checking of celery, a symptom of boron deficiency. III. Effect of potassium, nitrogen, and boron in culture solution on the physiological disorder and nutrient uptake". *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 71, 455-67.
- YAMAZAKI, I. y PIETTE, L.H. (1963). "The mechanism of aerobic -- oxidase reaction catalyzed by peroxidase". *Biochem. Biophys. Acta*, 77, 47.
- YLÄRANTA, T., JANSSON, H. y SIPPOLA, J. (1979). "Seasonal variations in micronutrient contents of wheat". *Annales Agriculturae Fenniae*, vol. 18, 218-24.

- YUAND, T.L. y BRELAND, H.L. (1969). "Evaluation of atomic absorption methods for determinations of Al, Fe and Si in clay and soil extracts". Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33, 868-72.
- ZIETECKA, M. (1975). "Investigations of copper content in soil and plants. I. Comparison of some methods of extraction of available copper". Roczn. Glebozn., 26 (3), 141-52.
- ZHIZNEVSKAYA, G. Ya. (1973). "Iron in plant nutrition". Agrochimica, 17 (1-2), 46-68.



Biblioteca Universitaria de Granada



01066956