RELACIONES SUELO: PLANTA EN LA CLOROSIS FERRICA Y SUS IMPLICACIONES AGRONOMICAS[1]

LEÓN NIJENSOHN

SUMMARY

IRON CHLOROSIS: SOIL-PLANT RELATIONSHIPS AND AGRONOMICAL IMPLICATIONS

The physiological aspects of the iron chlorosis and the soil conditions and other ecological factors involved in this nutritional disturbance are reviewed. Data of local research are quoted in relation to diagnosis and treatment of iron chlorosis in some cultivated crops on irrigated soils of Argentina.

The possible economical significance of subdeficiencies and the need of further research on this subject are emphasized.

INDICE

1. *INTRODUCCION*
   1.1. Definición y alcances
   1.2. Importancia del problema
   1.3. Objetivos del Relato

2. *LA PLANTA Y LA CLOROSIS FERRICA*
   2.1. Manifestaciones visibles
   2.2. Relaciones entre Fe y producción de clorofila
   2.3. Manifestaciones internas
      2.3.1. Contenido de Fe
      2.3.2. Aumento en la relación K:Ca y K:Ca + Mg
      2.3.3. Cambios en el contenido y naturaleza de las ácidos orgánicos
      2.3.4. Cambios en el contenido y naturaleza de los compuestos nitrogenados
      2.3.5. Cambios en la actividad encimática
      2.3.6. Modificaciones del pH del jugo celular
      2.3.7. Velocidad transpiratoria
   2.4. Sensibilidad y tolerancia específicas

[1] Actualización del Relato presentado por invitación ante la 6ª Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Córdoba, 20 al 26 de setiembre de 1971.

[2] Profesor Titular efectivo en la Cátedra de Edafología y Director del Instituto de Suelos y Riego de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, Chacras de Coria, Mendoza, Argentina.

3. *CONDICIONES DE SUELO Y OTROS FACTORES ECOLOGICOS EN LA CLOROSIS FERRICA Y SU DIAGNOSTICO*
- 3.1. Calcáreo
  - 3.1.1. Inmovilización del hierro
  - 3.1.2. Aumento de iones bicarbonato e influencia de éstos en la clorosis férrica
- 3.2. Fósforo
- 3.3. Condiciones de aireación y régimen hídrico
- 3.4. Suministro de Potasio
- 3.5. Efectos antagónicos del Manganeso, Cobre y otros metales
- 3.6. Otros factores ecológicos y de manejo asociados a la clorosis férrica
  - 3.6.1. Temperaturas extremas y alta luminosidad
  - 3.6.2. Riego y agregado de materia orgánica
  - 3.6.3. Fertilización nitrogenada
- 3.7. Diagnóstico edáfico de la disponibilidad de hierro

4. *LUCHA Y PREVENCION DE LA CLOROSIS FERRICA*
- 4.1. Fertilización férrica
  - 4.1.1. Aplicaciones edáficas directas
  - 4.1.2. Aplicaciones edáficas mediante el agua de riego
  - 4.1.3. Aumento indirecto de la disponibilidad del hierro
  - 4.1.4. Aplicaciones a la planta
- 4.2. Normas de manejo

5. *ENFOQUES PARA EL FUTURO*

1. Introducción

1.1. *Definición y alcances*

Uno de los problemas que mejor tipifican las interrelaciones entre el *suelo*, con sus características físicas y químicas intrínsecas, a las que se unen las provocadas por determinadas prácticas de manejo, y la *planta*, con sus modalidades metabólicas, a su vez influidas por el complejo ecológico, es el de la *"clorosis férrica"*, también conocida alternativamente en la bibliografía europea como *"clorosis calcárea"* o *"calciosa"* (Iljin, 1947, 1951 y 1952), o *"clorosis inducida por cal"* ("lime-induced chlorosis") en la literatura norteamericana, israelí, australiana, etc. (McGeorge, 1948; Thorne, 1955; Wallace, 1935; Samish, 1955; Kessler, 1957 y 1958; Baxter y Belcher, 1955; etc.).

Bajo el término general de *"clorosis"* debe entenderse una acentuada disminución en el contenido de clorofila, especialmente en las hojas, lo que da por resultado un amarillamiento que puede abarcar parcial o totalmente al tejido foliar.

La clorosis, por sí sola, no es un signo característico de un proceso mórbido de etiología única, sino una manifestación de dis-

turbios en el mecanismo productor de clorofila o de alteraciones en la vitalidad de los cloroplastos, que puede adoptar distintas variantes en su presentación y que reconoce una cantidad de causas posibles, algunas cuyo origen mediato es el suelo (deficiencias de macro y/o micronutrimentos; intoxicación salina; anoxia radical, etc.) y otras ajenas a él (factores meteorológicos, virus, etc.).

Por *"clorosis férrica"*, y para circunscribir el problema, entenderemos solamente aquel *síndrome* que muestra una respuesta hacia la normalización cuando se hace acceder a la planta hierro bajo una forma adecuada.

1.2. *Importancia del problema*

La clorosis férrica suele afectar a toda clase de cultivos —frutales, viñedos, hortalizas, granos, forrajeras, forestales y ornamentales— y su incidencia es mayor en suelos de regiones áridas y semiáridas regadías y, en general, en aquellos que por su pedogénesis presentan cantidades apreciables de calcáreo dentro del perfil. Puede considerarse que las pérdidas económicas significadas por la clorosis férrica son de muy considerable magnitud, aunque difíciles de estimar por las siguientes causas: (Wallace y Lunt, 1960): i) irregularidad en su presentación: no todos los años ocurre con la misma intensidad en los mismos sitios y cultivos; ii) casos de clorosis incipiente, que pasan inadvertidos, pero que afectan la producción; iii) reemplazo de cultivos o variedades susceptibles por otros de menor valor económico. En Estados Unidos se ha estimado que aproximadamente dos millones de hectáreas, o sea un octavo del área total de tierras de cultivo con calcáreo en superficie, son capaces de provocar clorosis férrica, de moderada a severa, en las plantas sensibles (Kuykendall, 1956).

Son clásicos los problemas que surgieron en la viticultura francesa cuando, a raíz de la invasión filoxérica, hubo que reconstruir los viñedos con pies resistentes de especies de vid americana de los cuales muchos resultaron altamente susceptibles a la clorosis, asociada a los altos contenidos de calcáreo de algunos de los suelos vitícolas más importantes de Francia (Drouineau et Gouny, 1951). Y así pueden citarse situaciones similares, actuales y en diversos cultivos —citrus, porotos, sorgo, etc.— en España (Carpena et al., 1957), Israel (Mokady, 1961), México (Larrea, 1969), etc. En nuestro país se han hecho observaciones sobre clorosis en citrus (Asso y Dantur, 1972), y soya (Fadda) en Tucumán (comunicaciones verbales). Es nuestra impresión que la verdadera magnitud del problema a escala nacional pasa semiinadvertida por falta de una visión integradora del mismo e incluso por falta de conciencia clara sobre su misma existencia, ya que probablemente la clorosis férrica esté afectando, en diferente grado de severidad, tanto a cultivos intensivos como extensivos. A eso contribuye la falta de publicación de observaciones y experiencias que al permanecer iné-

ditas se sustraen del conocimiento general. Personalmente, hemos tenido ocasión de estudiar en forma preliminar el problema con relación a vid en San Juan (NIJENSOHN, 1962), álamo, sorgo, maíz y maní en Santiago del Estero y duraznero en Mendoza (ORIOLANI ET AL., 1971) y actualmente constituye un tema de trabajo en equipo del Instituto de Suelos y Riego de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, con especial referencia a viñedos, donde su incidencia adquiere proyecciones económicas ponderables.

1.3. *Objetivos del Relato*

Nuestra finalidad en esta revisión es el presentar un panorama actualizado del problema de la clorosis férrica, con especial énfasis en las relaciones suelo: planta que lo caracterizan, las condiciones de manejo que lo agravan y los medios idóneos para aliviar o eliminar su incidencia.

2. LA PLANTA Y LA CLOROSIS FÉRRICA

2.1. *Manifestaciones visibles*

Las primeras manifestaciones son, generalmente, las de una clorosis internerval, que se inicia en las hojas nuevas en expansión. A medida que la afección avanza, las áreas internervales que al principio eran de color verde claro pasan a amarillas. Las nervaduras suelen permanecer verdes, salvo en casos de deficiencia muy severa, cuando toda la hoja pasa a un color casi blanco (WALLACE y LUNT, 1960). Nuestras observaciones nos indican que en viña, por ejemplo, y también en álamo, aparecen áreas castañas que terminan necrosándose, y el tejido foliar se hace flácido, pierde elasticidad y da, al tacto, la sensación como "de trapo". Gran parte o todo el follaje de la planta o árbol puede llegar a estar afectado, producirse abscisión foliar, muerte de brotes laterales, ramitas, ramas y, finalmente, en el mismo año o, en el caso de viña y frutales, al cabo de uno o dos años, pérdida de la planta entera.

No siempre el progreso de la clorosis acompaña el desarrollo del vegetal. Es común la remisión de los signos a medida que la estación avanza e incluso la desaparición total de la clorosis para la época de la cosecha. Sin embargo, aún en estos casos, la productividad suele resentirse notoriamente.

2.2. *Relaciones entre Fe y producción de clorofila*

Todavía no se sabe con exactitud el papel exacto del Fe en la producción de la clorofila (NASON ET AL., 1963). Algunas de las hipótesis avanzadas al respecto son:

i) El Fe cumpliría el papel de elemento organizador para la combinación de los grupos pirrólicos que forman la uroporfirina,

sustancia antecesora de la clorofila. El Fe actuaría a través de sus enlaces de coordinación octaédrica, los que mantendrían a los grupos porfobilinógenos en posición correcta como para condensarse en porfirinas cíclicas, en cambio de formas lineares. Se cree que el Fe puede pasar de un anillo porfirínico recién formado a otro en organización a través de un desplazamiento por Mg (cit. por WALLACE y LUNT, 1960).

ii) Otros investigadores creen que el hierro está involucrado principalmente en la formación de la proteína de los cloroplastos (GAUCH, 1957). NOACK y LIEBICH (1941), por ejemplo, encontraron que el 82% del hierro total en hojas de espinaca está asociado con los cloroplastos y, al separarlo en varias fracciones, determinaron que 5/6 partes de ese hierro firmemente ligado estaba absorbido en fosfoproteínas.

2.3. *Manifestaciones internas*

La clorosis férrica está acompañada de una serie de características, algunas de ellas de presencia constante y otras no, comprobables analítica o funcionalmente, cuya reseña crítica es importante porque pueden acercarnos a la comprensión de los factores edáficos y ecológicos, en general, que las determinan y sugerirnos caminos para su superación.

2.3.1. *Contenido de hierro.* Tratándose, por definición, la clorosis férrica, de una deficiencia de este elemento, lo aparentemente lógico sería el encontrar una relación directa entre el contenido de clorofila de las hojas y la proporción de hierro.

Sin embargo, la revisión de la literatura indica una gran discrepancia en ese sentido, encontrándoses toda clase de datos: desde aquéllos que confirmarían una asociación inversa entre proporción de hierro y grado de afectación de clorosis (v. gr. WALLIHAN, 1955), hasta aquéllos en donde no existe tal asociación o, incluso, ésta se presenta invertida (TWYMAN, 1959).

En correlación con contenidos disminuidos de Fe en la parte aérea, cuando éstos se constatan, se han encontrado acumulaciones de este elemento en las raíces, lo que sugeriría una inmovilización a ese nivel y una consecuente reducción en la translocación a las hojas (WARNOCK, 1952, cit. por MILLER, 1960).

Varias interpretaciones pueden plantearse para explicar la diversidad de datos citados con respecto a la relación contenido de hierro - clorosis:

i) *Posibilidad de contaminaciones.* JACOBSON (1945) ya señaló la necesidad de un cuidadoso lavado de las hojas, con detergente o ácido, antes de las determinaciones, y SMITH ET AL. (1950) confirmaron la posibilidad de cometer errores cuando no se toman precauciones especiales en la preparación de las muestras. Sin embargo, en una revisión efectuada sobre trabajos que cumplían con ese re-

quisito, LEEPER (1952) llegó a la conclusión de que muy frecuentemente las hojas cloróticas tenían tanto o más hierro que las sanas.

ii) *Base para el cálculo de los resultados.* Diferencias en la superficie específica y en la relación peso seco-volumen de las hojas, pueden oscurecer la sisgnificación de los datos cuando la correlación se hace entre grado de clorosis juzgado subjetivamente y el contenido de Fe expresado sobre la base de sustancia seca. Mejores correlaciones, quizás, se obtendrían expresando tanto la cantidad de clorofila como la de Fe tomando como base la unidad de superficie foliar.

NORTH y WALLACE (1952) utilizaron con éxito la relación Fe/N como índice sensible al grado de clorosis en aguacate, observando una disminución de esa relación a medida que la clorosis era más severa.

iii) *Distribución heterogénea.* En plantas cloróticas, el hierro puede encontrarse acumulado, en forma no disponible para los procesos metabólicos, en sitios de menor acidez dentro de un gradiente acentuado en la reacción. En cambio, en plantas que tienen un bajo pH general no existen tales acumulaciones y, a pesar de ser el nivel de Fe bajo, éste se encuentra distribuido uniformemente en todos los tejidos (ROGERS y SHIVE, 1932).

Mediante el empleo de Fe radioactivo, DE KOCK (1955) obtuvo autoradiografías que demuestran que mientras en hojas normales las áreas internervales contenían mucho más hierro que los tejidos vasculares, todo lo contrario se observaba en hojas cloróticas.

Según JACOBSON y OERTLI (1956), para que la clorofila se forme debe haber una disponibilidad de hierro en el estadio adecuado del desarrollo de la hoja. Tejidos cloróticos viejos pueden seguir acumulando hierro sin que se modifique su condición o aún empeorándose. Esto aparece claro analizando el Cuadro 1, construido con datos de un trabajo de WADLEIGH y BROWN (1952).

Cuadro 1. *Variación del contenido de clorofila y de hierro en hojas trifoliadas de Phaseolus vulgaris* [1] *cv. Poroto rojo arriñonado* (adap. de WADLEIGH y BROWN, 1952)

FECHA	HOJAS NORMALES			HOJAS CLOROTICAS [1]		
	Clorofila mg/100 cm²	Fe total ppm	Fe activo ppm	Clorofila mg/100 cm²	Fe total ppm	Fe "soluble" ppm
4–III	2,25	127	96	1,00	123	43
11–III	3,01	167	85	0,75	214	65
25–III	3,35	192	115	0,31	144	48

[1] Clorosis inducida por alta concentración de CO_3H en el medio (32 me/l).

iv) *Forma de hierro dosado.* Existe la posibilidad de que gran parte del hierro total dosado pueda encontrarse "inactivado" dentro de la planta, es decir, en combinaciones que lo sustraen del metabolismo activo. Se han adelantado una serie de hipótesis sobre los mecanismos causales de esa inactivación, muchas de ellas basadas en trabajos experimentales. Más adelante discutiremos las principales de ellas; por ahora señalaremos que ya OSERKOWSKY (1933) distinguió dentro de la planta un hierro "activo", caracterizado por su solubilidad en HCl Normal y uno no soluble o "residual".

En el cuadro 1 puede observarse que el contenido de clorofila se corresponde mejor con el Fe "soluble" que con el "total". Mientras que existe una superposición entre valores de Fe total no la hay con el Fe soluble activo.

v) *Tipo etiológico de la "clorosis férrica".* En principio podría dividirse la clorosis férrica en dos tipos generales: primaria y secundaria. La primera o deficiencia directa, sería el resultado de una insuficiente absorción de Fe debida a su baja disponibilidad en el suelo, ya sea por una pobreza intrínseca en este elemento (suelos ácidos derivados de areniscas cuarzosas v. gr.) o por condiciones de alcalinidad acentuada y elevada aireación, que lo hacen prácticamente insoluble (solubilidad de Fe^{***} a pH 8 = 10^{-15} me/litro). Como por ejemplo, suelos calizos de textura gruesa o suelos ácidos sobre-encalados. Esta clorosis primaria necesariamente está acompañada por bajos tenores de Fe en los tejidos vegetales, aunque es muy raro que se presenten en condiciones extremas tales que afecte a todas las plantas. Las de menor capacidad de movilización de Fe a partir de sus formas insolubles presentarán síntomas y, en ese caso, ellos necesariamente estarán acompañados de tenores bajos de Fe, tanto total como soluble en ácido, en los tejidos vegetales.

El caso general de clorosis férrica, sin embargo, es el que podríamos denominar como de "clorosis secundaria" o de "deficiencia indirecta o inducida". En estas condiciones es cuando la relación entre clorofila y hierro dosable es errática.

2.3.2. *Aumento en la relación K:Ca y K:Ca + Mg y del contenido en P.* Existen numerosas referencias en la literatura que constatan en hojas cloróticas una mayor proporción de K y una menor de Ca que en las hojas sanas (WALLACE, 1928; THORNE y WALLACE, 1944; LINDER y HARLEY, 1944; ILJIN, 1952). El aumento de la relación K:Ca ha sido observado no solamente en casos de clorosis férrica en condiciones de campo, sino que también se ha demostrado que ocurre en experiencias de clorosis provocadas en soluciones nutritivas (BOLLE y JONES, 1955; WADLEIGH, 1952).

En nuestro país, NIJENSOHN (1962) y NIJENSOHN et al (1973) encontraron también una mayor proporción de K en hojas de vid cloróticas de Mendoza y San Juan, que en las similares normales.

Asimismo, durante el estudio de un problema de clorosis férrica en álamos, desarrollado en condiciones de vivero en Santiago del Estero, NIJENSOHN et al (1969) establecieron que, mientras el contenido de K en hojas normales era de 2,38 g % sobre sustancia seca, en las hojas cloróticas ascendía a más del doble; 4,99 g %. En cambio, el Ca que en hojas normales era el 2,68 %, en las cloróticas era de sólo un tercio: 0,89 %. Además del Ca, también disminuía notablemente en las hojas cloróticas el contenido de Mg, que de 0,5 % en las normales pasaba a 0,19 %. Es decir, la relación K:Ca + Mg, que en hojas normales era de 0,75, pasaba en las hojas cloróticas a ser 4,64, o sea seis veces mayor.

Todavía no se sabe con claridad si estas relaciones anormales entre cationes son causas o efectos de la clorosis férrica. THORNE et al (1950) las consideran como consecuencias. Otros investigadores, como LINDER y HARLEY (1944), las consideran como un factor causal.

En cuanto al *aumento de P* en las hojas cloróticas, se lo considera en el párrafo 3.2.

2.3.3. *Cambios en el contenido y naturaleza de los ácidos orgánicos.* ILJIN (1947, 1952 y 1953) fue probablemente el primero en señalar una acumulación de ácido *cítrico* y, a veces también de *málico,* por lo menos en los primeros estadios de la clorosis calcárea. En la clorosis avanzada, el ácido málico suele disminuir.

Un efecto similar sobre los ácidos orgánicos fue constatado en tejidos con clorosis inducida por exceso de Mn (WEINSTEIN y ROBINS, 1955), por efectos genéticos, por deficiencia directa de Fe y hasta por virus (DE KOCK y MORRISON, 1958). RHOADES y WALLACE (1960) estudiaron la proporción de ácidos orgánicos con relación a la fijación de CO_2 por las raíces en medio calcáreo, tratando de separar los efectos vinculados a la deficiencia de Fe, por sí misma, de los provocados por la presencia del calcáreo activo. Para ello compararon tres medios: uno no clorosante (suelo arcillo-arenoso no calcáreo); otro clorosante (suelo arcilloso calcáreo) y un tercero, también clorosante (el mismo anterior), pero suplementado con un quelato de Fe que impidió la aparición de clorosis en las hojas de la planta reactivo (poroto).

Los resultados indican que, independientemente de las manifestaciones de clorosis, hubo un notable aumento en la proporción total de ácidos orgánicos en las hojas de las plantas que se desarrollaron en ambos suelos calcáreos clorosantes. Pero el único ácido cuya proporción se manifestó ligada al signo clorótico fue el *cítrico,* que duplicó su concentración en las hojas cloróticas con respecto a las no cloróticas, pero provenientes de un medio calcáreo suplementado con quelato férrico, y la triplicó con respecto a la de las procedentes del suelo no calcáreo.

La relación específica entre ácido cítrico y clorosis férrica, cualquiera sea la causa mediata de esta última, podría considerarse

confirmada a través de los datos obtenidos por YULIN su y MILLER (1961), quienes trabajando con soja en medios con y sin suplementación de Fe, determinaron que el contenido de ácido cítrico en hojas cloróticas fue siempre mayor que en hojas sanas, ya sea que la clorosis fuera el resultado directo de carencia férrica o una deficiencia inducida por altas concentraciones de bicarbonato, fósforo o manganeso.

El ácido *malónico*, en cambio, se manifiesta sensible en forma diferencial a la causa inductora de la clorosis férrica. Aumenta su proporción en las hojas cloróticas de plantas desarrolladas en medios con exceso de bicarbonatos o de manganeso, pero la disminuye —siempre en relación con los testigos normales— en las hojas cloróticas, resultantes de una deficiencia directa de hierro o inducida por exceso de P.

Esto daría, a nuestro criterio, un interesante método de diagnóstico diferencial, que valdría la pena ensayar en otras especies.

Aunque en las hojas cloróticas el contenido de ácido oxálico puede a veces ser menor que en las normales, en plantas que crecen en medios calcáreos clorosantes la proporción de ácido oxálico en las raíces llega a triplicarse, como lo han demostrado RHOADES y WALLACE 1960. Esto podría explicar la disminución del contenido de Ca en hojas con clorosis férrica, como consecuencia de una precipitación como oxalato de Ca al nivel de las raíces.

WADLEIGH y BROWN (1952) encontraron que, mientras en plantas normales la proporción de Ca en la parte aérea con respecto a la de las raíces era 1,5:1, en plantas con clorosis esa relación bajaba a 0,5:1.

2.3.4. *Cambios en el contenido y naturaleza de los compuestos nitrogenados.* En hojas con clorosis férrica se han citado acumulaciones de nitrógeno no proteico (ILJIN, 1951) y en especial de aminoácidos (CAIN y HOLLEY, 1955; RASTORGOEVA y OSTROVSKAYA, 1971). En hojas de vid clorótica de San Juan, NIJENSOHN (1962) encontró el doble de proporción de nitrógeno total que en las normales. También en álamo de vivero en Santiago del Estero, las hojas cloróticas demostraron tener más nitrógeno total, *más nitrógeno soluble*, pero *menos nitrógeno proteico* que las hojas sanas.

Se ha sugerido una estrecha relación entre el hierro, la formación de proteínas y la síntesis de clorofila (BUSLOVA, 1946, cit. WALLACE y LUNT, 1960; SIDERIS, 1955): en el sentido de que una reducción en la síntesis proteica por deficiencia de hierro induciría una disminución de clorofila.

2.3.5. *Cambios en la actividad encimática.* La clorosis férrica está asociada a cambios en la actividad de importantes encimas, de las que forma parte el hierro en combinación con proteínas específicas. Sales simples de hierro por sí solas exhiben leves propiedades catalásicas y peroxidásicas, las que aumentan en las combinaciones de hierro con anillos porfirinicos. Pero cuando esas porfirinas férricas

se unen a su vez a proteínas específicas, los complejos resultantes muestran un tremendo incremento en la actividad y especificidad de su acción. De acuerdo a la proteína a la que se ligue, los grupos hemo —constituidos por cuatro anillos pirrólicos coordinados por Fe, en forma coplanar, con las otras valencias de coordinación en ángulos rectos a las que pueden unirse oxígeno molecular, peróxido de hidrógeno, proteínas, etc.— pueden transportar oxígeno molecular (hemoglobina, presente en los nódulos de las leguminosas), electrones (citrocomo b o c), activar oxígeno (citocromoso oxidasa), activar el peróxido de hidrógeno (peroxidasa) o descomponerlo (catalasa), tal como citan NASON y MC ELROY (1963).

Un método muy interesante de diagnóstico de deficiencia de hierro en citrus ha sido desarrollado en Israel, justamente a través de la determinación de la actividad peroxidásica del tejido foliar (BAR-AKIVA y LAVON, 1968). En este procedimiento se mide la actividad peroxidásica inicial y la resultante después de haber mantenido en incubación 24 - 48 horas a hojas a las que se introdujo hierro por infiltración al vacío. La actividad encimática inicial resultó estar positivamente correlacionada con el nivel de hierro disponible en el sustrato, el contenido de clorofila en las hojas y la respuesta de crecimiento en los árboles. El aumento de la actividad peroxidásica inducida por el Fe demostró ser bastante específica de la deficiencia férrica y estar negativamente asociada al nivel de hierro en el sustrato y al contenido de clorofila en hojas. Consideramos que, convenientemente adaptado, este método puede servir de base para un diagnóstico de condiciones subóptimas de alimentación férrica y probablemente de otros micronutrimentos en cultivos susceptibles, donde una clorosis leve puede pasar inadvertida sin dejar de influir por eso en los rendimientos.

Sin embargo, deben todavía aclararse varias incógnitas planteadas por relaciones complejas entre actividades encimáticas y deficiencias nutricias. En vid, por ejemplo, hemos comprobado que mientras en algunos casos las hojas cloróticas manifiestan una menor actividad peroxidásica que las sanas, en otros se observaba una relación marcadamente inversa. El primer caso correspondería a típicas situaciones de clorosis calcárea, mientras que el segundo probablemente se trate de clorosis por acción antagónica de exceso de Mn. La diferencia entre las actividades peroxidásicas y oxidásicas hace más acentuados estos distintos comportamientos (NIJENSOHN *et al.*, 1973).

2.3.6. *Modificación del pH del jugo celular.* Varios investigadores encontraron que la clorosis férrica está asociada a un aumento de pH en el medio interno de las plantas afectadas. POUGET y JUSTE (1965) determinaron el pH de la savia bruta de plantas de vid cloróticas y normales, cultivadas en suelo altamente calcáreo de Francia, y encontraron un promedio de pH 6,0 para las primeras y pH 5,5 para las no afectadas.

Por nuestra parte, hemos determinado en macerados de hojas de vid cloróticas de la Provincia de San Juan, en suelo medianamente calcáreo, un valor pH de 4,6, mientras que en hojas normales de la misma variedad y sitio, un pH de 3,8. En cultivo de Rosa Damascena en Bulgaria, BONEVA (1969) determinó para hojas cloríticas y normales valores pH 6,3/6,5 y 4,8/4,9, respectivamente. Lo que habría que dilucidar es si esa elevación en el pH es una característica asociada, un factor causal o una consecuencia de la clorosis férrica.

2.3.7. *Velocidad transpiratoria.* HUTCHINSON (1969) encontró que las hojas de plantas cloróticas en suelos calcáreos pierden agua más rápidamente que las hojas normales de la misma especie en el mismo sitio, y que la velocidad de esa pérdida por transpiración tanto estomatal como cuticular es proporcional al grado de clorosis. Esto explicaría el defecto de turgencia o flacidez que hemos observado, y al que hicimos referencia anteriormente, en hojas cloróticas de vid.

Este aspecto de la economía hídrica vinculada a la clorosis férrica sería interesante estudiarlo en relación con un defecto que habitualmente se presenta en uva del cv. *Moscatel Blanco* después de fuertes calores o de haber corrido viento Zonda. Los granos pierden turgencia y muestran el aspecto flácido que regionalmente se describe con el término de "apachangado". El fenómeno descripto que generalmente es irreversible y afecta la calidad comercial del fruto para su consumo directo, podría estar vinculado a una subdeficiencia de hierro, sin manifestaiones cloróticas aparentes, que afecta la regulación transpiratoria. Es sugestivo que el cv. Moscatel Blanco es también uno de los que muestra mayor sensibilidad a la clorosis férrica en los suelos medianamente calcáreos de San Juan.

2.4. *Sensibilidad y tolerancia específicas*

Una característica de la clorosis férrica es la variación en la susceptibilidad hacia ella, que presentan no sólo las especies entre sí, sino también cultivares dentro de una misma especie y aún individuos dentro de una misma población.

Entre los cultivos sensibles, de importancia económica en nuestro país, pueden citarse: durazneros, damascos, perales, manzanos, vid, citrus, ciruelos, cerezos, álamo, sauce, maíz, sorgo, maní, soja, porotos, arvejas, etc. Entre las plantas ornamentales más comunes que sufren clorosis férrica se mencionan: azaleas, jazmín, rododendros, gardenia, liquidambar, catalpa, juniperus, etc.

Hay quienes consideran que la clorosis calcárea es una consecuencia que sufren las plantas que han desarrollado mecanismos fisiológicos de adaptación a suelos ácidos (GRIME y HODGSON 1968). La resistencia que evidencian plantas calcífugas a la toxicidad de Al sería, según esos autores, el resultado de reacciones de quelación

que también se cumplirán para el Fe, provocando su deficiencia en condiciones de pH neutro o alcalino.

En ciertas plantas, como la soja, se ha estudiado en detalle las características genéticas de la susceptibilidad diferencial a la clorosis (WEISS, 1943), la que resulta ligada a un único gen, existiendo líneas puras como la denominada PI, muy susceptible y otras, como la HA, muy tolerantes. La susceptibilidad o tolerancia del pié decide en general la aparición o no de clorosis en el injerto. Esto implica dos aspectos importantes: Por una parte, demuestra el papel decisivo de las raíces —ya sea a través de la cantidad y forma de hierro absorbido del suelo como de los compuestos formados en la planta— y, por otra, indica las posibilidades agronómicas de lucha contra la clorosis férrica a través de la adecuada selección del portainjerto. En citrus, por ejemplo, el limón rugoso y el naranjo agrio son más resistentes a la clorosis que el naranjo dulce o el trifoliata; en vid la especie europea es más tolerante que las americanas y, dentro de ellas, existe un amplio rango en la susceptibilidad.

Se han mencionado varias características de las raíces que están asociadas a la susceptibilidad diferencial a la clorosis: capacidad reductora (BROWN *et al.*, 1961) capacidades quelatantes (BROWN *et al.*, 1960) y afinidad relativa para Ca (BLANC AICARD y DROUINEAU, 1955). En portainjertos de vides americanas, por ejemplo, la resistencia a la clorosis calcárea sería inversamente proporcional a lo que BLANC AICARD y DROUINEAU (1955) denominaron "capacidad de saturación en calcio" de las raíces, la que de acuerdo al procedimiento descripto por los autores, creemos que sería más propio denominarla "capacidad de adsorción de Ca lábil en intercambio parcial con H". De poder generalizarse una propiedad como ésa, fácil de ser determinada "in vitro", constituiría un instrumento de diagnóstico de mucha utilidad en el trabajo fitotécnico y en la decisión agronómica ante una plantación en suelos clorosantes.

3. Condiciones de suelo y otros factores ecológicos en la clorosis férrica

Salvo horizontes eluviales de suelos podsólicos y regosoles cuarzosos, son la excepción, en condiciones naturales, los suelos agrícolas cuyo tenor absoluto de hierro sea tan bajo como para causar, por esa sola circunstancia, el síndrome de la clorosis férrica.

La deficiencia de hierro se encuentra asociada a distintas características edáficas, intrínsecas y de manejo, así como a otros factores ecológicos tales como temperatura, humedad y luminosidad. A su vez, frente al mismo complejo ecológico la deficiencia podrá o no manifestarse, de acuerdo —como ya se vio— a la mayor o menor susceptibilidad de la planta, es decir, a las modalidades metabólicas específicas.

Todo esto hace tremendamente difícil poder predecir el comportamiento de un determinado cultivo, en un cierto suelo y en una temporada en especial, de acuerdo a un esquema de diagnóstico sencillo. Más aún, a pesar de que ya hace más de 120 años desde que se observó por primera vez que plantas sin hierro se ponían cloróticas (GRIS, 1843), todavía quedan muchas incógnitas por revelar en cuanto a la calificación y cuantificación de los factores ecológicos determinantes. Con todo, se conocen suficientes aspectos del problema como para integrar un cuadro más o menos coherente.

3.1. *Calcáreo*

Desde hace mucho (JURITZ, 1912, por ejemplo) se señaló una asociación entre suelos calcáreos e incidencia de la clorosis férrica. La falta de correlación satisfactoria entre el contenido de carbonato de calcio total y el así llamado "poder clorosante" del suelo, llevó a los investigadores franceses, especialmente preocupados por la incidencia del problema en el comportamiento de vides americanas introducidas como piés resistentes a la filoxera, a desarrollar el concepto de "*calcáreo activo*", que involucra a aquel cuya superficie específica es lo suficientemente grande como para darle presuntivamente una gran capacidad de fijación de Fe. DROUINEAU (1942) caracterizó convencionalmente al calcáreo activo como aquél capaz de reaccionar frente a una solución de oxalato de NH_4 0,2 N durante una agitación de dos horas. GALET (1947) fijó como conveniente una relación suelo: solución de 1:100 y estableció una escala de tolerancia relativa para vides, en las que a partir de 2% de calcáreo activo ya se observaba clorosis en algunas variedades. NIJENSONH y PIZARRO (1960) modificaron el método haciéndolo apto para su empleo en suelos orgánicos y/o yesosos, como los hidrovédicos mendocinos donde el tenor de calcáreo total puede oscilar entre el 20% y el 60%, de los cuales sólo de 6% a 11% son convencionalmente "activos".

Las relaciones causales entre calcáreo activo y clorosis férrica pueden establecerse a través de diferentes enfoques.

3.1.1. *Inmovilización del hierro.* En suelos con calcáreo finamente subdividido el hierro puede fijarse por sorción superficial (BOISCHOT *et al.*, 1950) y/o precipitar como hidróxido férrico de solubilidad bajísima en el medio alcalino que caracteriza a los suelos calizos (el Fe^{***} soluble a pH 7 y pH 8 es del orden de 10^{-12} y 10^{-15} mg/l, respectivamente). Estos mecanismos, que fueron los primeros que se consideraron, son los r e s p onsables, solos o con otros factores, de parte de las situaciones de clorosis y en esos casos el tenor de hierro total absorbido por la planta es deficitario. Una situación así la hemos constatado en álamos de Santiago del Estero, donde el contenido de hierro total en hojas normales era de

174 ppm., mientras que las cloróticas sólo contenían 85 ppm. Sin embargo, ya se vió que frecuentemente los tejidos cloróticos contienen más hierro que los normales, lo que demuestra la capacidad de ciertas raíces de movilizar el hierro de compuestos de muy baja solubilidad y de absorberlo. En efecto, ya MOLZ (1907) concluía sus estudios sobre clorosis de vides en la región del Rhin diciedo que "la clorosis de la vid es rara vez o nunca causada por una carencia de hierro".

3.1.2. *Aumento de iones bicarbonato e influencia de éstos en la clorosis férrica.* La concentración natural de bicarbonato en solución bajo presión atmosférica aumenta 500 veces por la presencia de carbonato de calcio en contacto con aire y el efecto del carbonato de magnesio es aún 10 veces mayor (RABINOWITCH, 1945), de acuerdo a la siguiente reacción:

$$MgCO_3, (CaCO_3) + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons Mg^{**}, (Ca^{**}) + 2HCO_3$$

En los últimos años se reunió una considerable literatura que relaciona a los iones bicarbonato con la clorosis férrica: ya sea a través de evidencias circunstanciales de asociación, como de comprobaciones de acciones directas e indirectas sobre distintos aspectos del síndrome clorótico.

Esquematizaremos los aspectos más salientes de este panorama, algunos de ellos concurrentes y otros contradictorios.

i) *Asociación de presencia.* HARLEY y LINDNER (1945) relacionaron la clorosis de montes de manzanos y perales con el contenido de bicarbonatos del agua de riego (3 a 6 me/1) y observaron deposiciones de carbonatos alcalinotérreos alrededor de las raíces de los árboles afectados. Con el cambio por agua de menor contenido de HCO_3 mejoró la condición clorótica. Es interesante destacar que las aguas aludidas no contenían carbonato de socio residual y que eran de baja salinidad (CE = 500-600 micromhos/cm, 25ºC). Otra evidencia circunstancial: LINDSAY y THORNE (1954) extrajeron con presión de nitrógeno y a 15 atmósferas la solución edáfica de suelos de 7 pares de situaciones normales y cloróticas de otros tantos montes frutales de Utah y encontraron una significativamente mayor proporción de CO_3H^- en las áreas cloróticas.

ii) *Inducción de clorosis.* El aumento de concentración de HCO^-_3 en los medios de cultivo provoca la aparición de clorosis. WADLEIGH y BROWN (1952) demostraron que este efecto es independiente del pH y que aunque las plantas cloróticas absorbieron tanto hierro como las normales, la proporción de hierro soluble en HCl N/1 fue significativamente menor. La identidad de la clorosis inducida por bicarbonato con la clorosis férrica fue probada en esta experiencia a través de la reaparición de clorofila en las hojas afectadas mediante la aplicación de solución diluída de sulfato ferroso.

También YULIN SU y MILLER (1961) indujeron clorosis en soja PI con el agregado de 10 me/l de $NaHCO_3$ en el medio nutritivo. En esta experiencia se mantuvo tanto en el testigo normal como en el clorótico un pH de 7,8 y se igualó la concentración sódica y la succión osmótica del testigo mediante la adición de 10 me/l de ClNa, factor que no se tomó en consideración en el trabajo anteriormente citado.

III) *Efectos en la translocación del Fe.* La presencia del ión HCO_3 en una concentración de 10 me/l en la solución en contacto con raíces, provoca una notable disminución en la translocación del hierro, el que se acumula en las raíces con la consiguiente reducción de su proporción en hojas y tallos. Son ilustrativos al respecto los datos obtenidos por LINDSAY y THORNE (1954), los que reelaborados para ser expresados en forma relativa, pueden sintetizarse así: tomando como base el testigo normal (poroto en solución Hoagland de pH 7,8, con sequestrene férrico marcado y 10 me/l de NaCl), las plantas cloróticas (desarrolladas en la misma solución y pH, pero donde el NaCl fue reemplazado por $NaHCO_3$) tenían en las raíces un 132% más de hierro radioactivo y un 80% más de hierro total. En la parte aérea, en cambio, la situación resultó inversa: en las hojas las plantas cloróticas tenían un 60% menos de hierro marcado y un 25% menos de hierro total.

IV) *Efectos inhibidores sobre la citocromoxidasa.* MILLER y EVANS (1956) estudiaron el efecto de concentraciones de 8 y 16 me/l de HCO_3Na en la solución nutritiva, sobre la actividad de la citocromoxidasa en extracto de raíces de soja desarrolladas en ellas, comparativamente con testigos de la misma concentración de Na y pH (7,7 y 7,8), pero con bicarbónico. Encontraron, además del efecto clorosante desarrollado a los 25 días, una disminución del 40% al 50% en dicha actividad por influencia del HCO_3.

V) *Carácter indirecto de los efectos anteriores.* Los resultados antecitados no prueban, sin embargo, que sea el HCO_3 el factor directo causativo de la clorosis. Experiencias posteriores empleando la técnica de medios divididos, en donde el bicarbonato en ausencia de Fe y P tiene acceso a la planta a través de un sector de raíces aisladas de las restantes inmersas en el suelo, demuestran la ausencia de un efecto directo del HCO_3 sobre la aparición de clorosis, absorción de hierro o respiración de raíces (MILLER *et al.*, 1960). Estos síntomas sólo aparecían cuando el HCO_3 se encontraba simultáneamente presente con el Fe y el P en el medio radical. Pero ésta es, justamente, la situación que se presenta en condiciones de cultivo de campo.

3.2. *Fósforo*

Uno de los síntomas que acompañan habitualmente a la clorosis férrica es un aumento en la absorción de fósforo y/o de su con-

tenido en los tejidos cloróticos. En hojas cloróticas de álamo, por ejemplo, hemos encontrado un contenido de fósforo casi tres veces superior a las de hojas verdes (0, 75 g% y 0,27 g% s.s., respectivamente). En vid, para un contenido en láminas aparentemente sanas de 0,4 g%, las cloróticas contenían 1% (NIJENSOHN et al., 1973). En soja PI, sólo se manifiestan signos cloróticos cuando la concentración de P supera 0,3 g% s.s. (BROWN, 1959).

Se atribuye al P la inactivación interna del hierro, por lo que sería un factor indirecto de clorosis férrica.

El aumento de la concentración y/o de la actividad del P dentro del vegetal clorótico puede estar en relación con las siguientes circunstancias:

I) Un mayor nivel de fósforo nativo disponible. Hemos observado, por ejemplo, clorosis férrica en sorgo en suelos de Santiago del Estero, donde el nivel de fósforo soluble en agua carbonicada era inusitadamente alto.

II) Un aumento en la solubilidad provocada por la presencia de iones bicarbonato (GREENWALD, 1945; OLSEN et al., 1960), lo que explicaría en parte la acción clorosante de éstos.

III) Liberación de fosfato inorgánico dentro de la planta a través del proceso llamado de *"Fijación oscura de* CO_2", que es la que se efectúa en las raíces a partir de CO_2 o HCO_3 y se la llama así para diferenciarla de la fotosintética.

BANDURSKI (1955) describió el proceso como una reacción entre la sal magnésica de ácido fosfoenolpirúvico (PEP) y el CO_2, lo que da como resultantes una molécula de ácido oxalacético (OAA) y una molécula de fosfato inorgánico. Este último es el que actuaría en la inmovilización del hierro.

3.3. *Condiciones de aireación y régimen hídrico*

Numerosos autores europeos achacaron a la deficiente aireación del suelo un efecto provocador o intensificador de la clorosis férrica, lo que estaba basado en observaciones sobre las consecuencias en ese sentido de la excesiva humedad por exceso de lluvia y/o de la compactación (GÄRTEL, 1955). Sin embargo, no debe sacarse como consecuencia de ello que sea la deficienia de oxígeno, por ella misma, la responsable del síndrome de clorosis férrica. Experiencias como las de DE KOCK (1955) y LINDSAY y THORNE (1954) muestran, al contrario, que el grado de clorosis inducida por soluciones nutricias con bicarbonato resulta estar negativamente asociada al porcentaje de oxígeno en el aire que burbujea en ellas. O sea que la deficiencia de oxígeno tendería a anular o morigerar la acción clorosante. También BROWN *et al.* (1955) observaron que en un suelo calcáreo cultivado con arroz sólo se desarrollaba clorosis cuando no se lo inundaba. Otros autores, en cambio, citan en citrus que la clorosis calcárea incide marcadamente en condiciones de alto nivel

de humedad, mientras que afecta sólo ligeramente en regímenes de riego moderado (BURGHES y POHLMAN, 1928; REUTHER y CRAWFORD, 1946). Efecto similar fue constatado en soja en experiencias en recipientes, donde un nivel hídrico del 125% de la capacidad de campo se mostró como clorosante, mientras que no hubo disminución de clorofila con el nivel del 75% (ELGALA y MAIER, 1964).

Una experiencia recientemente informada (SAGLIO, 1969) muestra los efectos adicionales que un régimen húmedo tiene cuando el riego se efectúa con aguas de alto contenido de bicarbonatos y en suelo clorosante. Después de 6 años de riego en un monte de citrus en Túnez, con suelo limo-arcilloso calcáreo (12% de $CaCO_3$ "activo"), los árboles regados con agua de 1 me/l de HCO_3 se muestran normales y con la producción en ascenso; los regados con agua de 5 me/l de HCO_3, en cambio, denotan clorosis y producción en descenso, siendo la afectación más severa en el régimen de riego equivalente al 100% de la Evapotranspiración Potencial que en el del 75%.

Estas contradicciones aparentes pueden conciliarse en parte si, además de la especificidad en el comportamiento que puedan exhibir distintas especies, se tienen en cuenta consideraciones como las siguientes:

I) En condiciones de campo, una disminución en la aireación —por compactación y/o por humedad excesiva— tiene dos efectos simultáneos: no sólo la disminución del contenido de oxígeno, sino también el incremento de CO_2. El aumento de la presión parcial de CO_2 provoca una mayor concentración de HCO_3 y, por tanto, induce los efectos directos o indirectos atribuidos a este ión con relación a la clorosis, y que ya se citaron.

Hay quienes se oponen a esta explicación argumentando que experiencias como la de POEL (1953) muestran la necesidad de la presencia de oxígeno para que las raíces efectivicen la "fijación oscura de CO_2", cuya importancia en el proceso clorosante ya se mencionó con relación a la movilización del fósforo. Pero pensamos que, si bien este argumento sería válido en condiciones de anaerobiosis casi total —como en el citado ejemplo del arroz—, no es éste el caso general de suelos mojados por aguas de lluvia o de riego que de por sí tienen oxígeno disuelto y que, además, no saturan totalmente el suelo.

II) Las experiencias de gabinete que pretenden demostrar el efecto favorable de la disminución de O_2 en la disminución de clorosis, están viciadas por un error metodológico que impide su generalización a las condiciones de campo. En efecto, la disminución de O_2 en el aire que se hace burbujear en las soluciones nutritivas no está generalmente acompañada en esas experiencias por un aumento correlativo de CO_2, sino de N; y aún si así lo fuera, tampoco hay una fase sólida dispersa de $CaCO_3$, que per-

mite el aumento del ión HCO_3 a medida que se incrementara la presión parcial de CO_2.

La menor influencia de la proporción de O_2 en el grado de clorosis cuando el hierro suministrado lo es como quelato en lugar de fosfato (LINDSAY y THORNE, 1954), nos sugiere un efecto en la solubilidad de este último a través del aumento en el nivel de oxidación del hierro. Si bien las raíces pueden movilizar hierro férrico, eso lo hacen en contacto directo con la fase sólida, como ocurre en el suelo. En un medio de cultivo, y estando el hierro precipitado, tal contacto puede ser menor o no tener del todo lugar. Una explicación similar –menor absorción de Fe por menor contacto raíces-suelo– podría proponerse al problema planteado por MOKADY (1961), quien encontró clorosis en suelos calcáreos con agregados gruesos y no en los mismos con agregados finos, ambos logrados con un acondicionados sintético de estructura y posterior tamización.

III) Los efectos favorables de la compactación y/o agregado de materia orgánica descomponible y/o sumersión, en ciertos suelos calcáreos gruesos o en ácidos sobreencalados, pueden interpretarse a través de un aumento en la disponibilidad directa de Fe, como sal inorgánica o humato.

3.4. *Suministro de Potasio*

Ya se vió que uno de los síntomas asociados con la clorosis férrica en suelos calcáreos es el aumento de la relación K:Ca y K:Ca + Mg en los tejidos cloróticos. Esta relación, sin embargo, puede no ocurrir cuando la clorosis se debe directamente a insuficiencia de hierro en el medio (LIDNER y HARLEY, 1944). Tampoco es prueba de un suficiente suministro de K. En maíz se encontró que la clorosis de hojas en plantas con deficiencia de K estaba asociada a acumulaciones de hierro en los nudos (HOFFER, 1930). Experiencias más recientes (HEWITT y BELL - JONES, 1953, BELL - JONES, 1955) establecen las siguientes relaciones entre disponibilidad de potasio y clorosis férrica en papa: i) la deficiencia de K en un medio con bajo nivel de Fe acelera y agrava la clorosis férrica de hojas apicales; II) un adecuado suministro de K no sólo atempera la clorosis férrica, sino que distribuye los síntomas entre hojas nuevas y maduras, lo que implica una mayor movilidad del hierro; un aumento de P en el medio agudiza los síntomas de clorosis y acentúa los efectos de la deficiencia potásica; III) *aún en los tratamientos con deficiencia de K se encontró un aumento en la relación K:Ca en las hojas cloróticas*, lo que se asoció al hecho de que en condiciones de bajo suministro potásico la migración de K de hojas viejas a nuevas fue mayor en plantas con deficiencia de hierro que en las normales. La conclusión obtenida es que la alta relación K:Ca de las hojas cloróticas de plantas con clorosis calcárea refleja una condición de deficiencia aguda o incipiente de potasio (HEWITT, 1963). Esta con-

clusión, a primera vista paradójica, estaría apoyada por observaciones que hemos efectuado en clorosis de maíz y sorgo consecuentes a la reuperación de suelos salinosódicos en Santiago del Estero y donde las áreas de mejor desarrollo y de menor afectación estaban asociadas a muy altos contenidos de K soluble en el suelo.

No todas las plantas muestran una relación K:Fe del tipo descripto para papa. De Kock et al. (1960), trabajando con mostaza, encuentran un agravamiento de la clorosis férrica con el aumento del nivel de K en el medio, por lo que queda abierto un interesante campo para la investigación.

3.5. *Efectos antagónicos del Manganeso, Cobre y otros metales*

El exceso de Mn puede inducir síntomas aparentemente idénticos a los de la clorosis férrica y su presencia en elevados niveles en el suelo puede darse, entre otras, en las siguientes circunstancias: suelos ácidos manganíferos (clorosis férrica de ananás en Hawaii, por ejemplo) o alcalinos manganíferos en condiciones de elevada humedad, donde pasa al estado reducido soluble.

Efectos similares a los de Mn se citan para Cu. Por ejemplo: clorosis férrica de citrus en Florida, donde el exceso de Cu proviene de la acumulación de productos anticriptogámicos (Smith y Specht, 1953), para Ni, Cr y Co (Clorosis en suelos serpentinosos de Japón (Ishihara, 1968) y para Zn y Mo (Hunter y Vergnano, 1953).

Brown *et al.* (1960) comprobaron una competencia entre raíces y agentes quelatantes por el hierro. De la elaboración posterior de este concepto se propuso que los metales pesados pueden competir con el hierro por sitios de quelación no sólo en las superficies radicales sino también dentro de las plantas (Wallace y Hale, 1962). Es interesante que las constantes de estabilidad para metales pesados con sustancias quelatantes de distinto tipo de ligaduras guardan aproximadamente el mismo orden que el comprobado para la inducción de clorosis férrica; es decir, Ni más que Cu más que Co mas que Cr más que Zn más que Mo más que Mn (Wallace, 1962). Variaciones de concentración pueden explicar cambios en el orden de competencia y efectividad en ella.

3.6. *Otros factores ecológicos y de manejo asociados a la clorosis férrica*

3.6.1. *Temperaturas extremas y alta luminosidad.* Se ha observado que primaveras anormalmente frías, especialmente si también son lluviosas, aumentan la incidencia de la clorosis en cultivos en comienzo de brotación o desarrollo. Esto podría explicarse a través del aumento de solubilidad del CO_2 y, por ende, de la concentración de bicarbonatos en la solución edáfica.

Por otra parte, también temperaturas por encima de las normales provocan el mismo efecto, especialmente si están acompaña-

das por elevada luminosidad. La explicación, en este caso, sería la velocidad incrementada en el crecimiento, con la consecuente necesidad de nutrimentos, en este caso Fe, cuya disponibilidad absoluta y/o actividad entrarían en deficiencia.

3.6.2. *Riego y agregado de materia orgánica.* Ya se vio que un régimen hídrico de alta humedad favorece, en general, el desarrollo de la clorosis. Un factor coadyuvante puede ser el entierro de abonos verdes, rastrojos, enmiendas orgánicas o del colchón de malezas en el período de activo crecimiento. BROWN *et al.* (cit. WALLACE y LUNT, 1960) mantuvieron en incubación húmeda durante 11 días a 23°C un suelo con 9% de CO_3Ca sin y con agregado de material orgánico fresco. Del análisis de sus datos surgen los siguientes aumentos relativos de algunos iones en las soluciones extraídas del suelo tal cual, y de él con agregado de 25 t/ha de trébol blanco: HCO_3 430 % y 615 %; Fe 40 % y 250 %; Mn 2.700 % y 5.500%. Especialmente sugestiva es la variación de la relación Fe: Mn por la acción de la sola humedad y del incremento adicional de HCO_3 por el agregado de materia orgánica.

3.6.3. *Fertilización nitrogenada.* Se han citado casos donde aplicaciones de altos niveles de nitrógeno nítrico indujeron clorosis férrica en tabaco (STEINBERG *et al.*, 1949), en macadamia (NORTH y WALLACE, 1959) y en duraznero (STEBBINS ET AL. 1963). En suelos calcáreos no habría comportamiento diferencial entre la forma nítrica y amoniacal de N (FROLICH y WALLACE 1966).

3.7. *Diagnóstico edáfico de la disponibilidad de hierro*

LINDSAY y NORVELL (1969) propusieron usar una solución 0,005 M de DTPA (ácido dietilenetriaminapentaacético) para extraer el hierro y el cinc "disponibles". En una experiencia donde de acuerdo con ese método el suelo sería deficiente en hierro (1,4 ppm de Fe extraíble), MARTVEDT y GIORDANO (1971) obtuvieron notables aumentos de rendimiento en sorgo, como respuesta a aplicaciones de Fe.

Recientemente, JOHNSON y YOUNG (1973) utilizaron como reactivo extractante del Fe "disponible" una solución 0,001 M de EDDHA (ácido ortodietilendihidroxifenilacético) en 0,1 M NO^3Na. Trabajando con 16 suelos distintos, encontraron que la clorosis en sorgo estaba linealmente relacionada con la inversa del contenido de Fe extraíble y que los coeficientes de correlación (r) —con diferentes tiempos y temperaturas de extracción y de técnicas de determinación analítica— variaban entre 0,91 y 0,98. El procedimiento más sencillo y conveniente fue el de extraer el Fe a temperatura ambiente, durante 18 horas, en una relación suelo: solución :: 1:10 y medir directamente por espectrofotometría a 470 milimicrones, la concentración del quelato formado.

JUSTE y POUCET (1972) propusieron un índice edáfico "I" que relaciona el porcentaje de calcáreo activo, soluble en oxalato de

NH_4 N/5, con el hierro extraído con el mismo reactivo, el que se expresa:

$$I = [(CO_3Ca, g\%) / (Fe, ppm\ suelo)^2] \cdot 10^4$$

Este índice, que puede variar entre 0 y 280, permitió establecer una escala de poder clorosante del suelo más adecuada que el simple porcentaje de calcáreo activo, cuando se la aplicó a lupino y a portainjertos de vid americana.

4. Lucha y prevención de la clorosis férrica

La defensa contra la clorosis férrica puede encararse desde tres ángulos: i) corrección de la deficiencia mediante la fertilización con hierro o aumento indirecto de su disponibilidad; ii) manejo del suelo y del cultivo para controlar los factores inductores y iii) selección y creación de variedades resistentes. Este último aspecto escapa a las finalidades de este trabajo, por lo que nos limitaremos as esquematizar el estado actual de los dos primeros.

4.1. *Fertilización férrica*

4.1.1. *Aplicaciones edáficas directas.* Salvo en los casos muy excepcionales de deficiencia absoluta de hierro, no se obtienen resultados satisfactorios mediante el empleo de sales inorgánicas u orgánicas solubles de este metal cuando son incorporadas al suelo. A lo más, se logran mejorías pasajeras con el empleo de elevadas concentraciones locales, con el riesgo de provocar efectos tóxicos. En sorgo granífero clorótico, Withee y Carlson (1959) obtuvieron aumentos signifiativos de rendimiento mediante la incorporación al suelo de 500 a 600 kg/ha de sulfato ferroso; con la misma dosis pero de pirofosfato férrico los resultados fueron aún superiores a los conseguidos con pulverizaciones. También en arroz, Westfall *et al.* (1971) consiguieron aumentos del orden del 100% sobre un testigo de 2.200 kg/ha, mediante la incorporación de 500 kg/ha de sulfato férrico (100 kg/ha de Fe).

La introducción de los complejos quelatantes ha permitido un lento pero contínuo avance durante el cual se fueron desechando sucesivamente diversos productos, ya sea por ineficencia, poca perdurabilidad en el suelo o acción tóxica. Prácticamente ha persistido sólo uno de ellos como de comportamiento promisorio; es el EDDHA (etilenediaminodiortohidroxifenilacético). El EDDHA como sal sódico-férrica (6% de Fe) es estable en suelo calcáreo, no se fija en la arcilla, tiene una alta selectividad para el hierro en comparación al Ca y no presenta efectos tóxicos en la planta a las concentraciones usadas (Wallace, 1966).

Empleando EDDHA férrico, se han citado éxitos en la cura de la clorosis de manzano con 100-200 g/árbol en Israel (Samish, 1964); en peral, en Francia, con 30 g/árbol (Guennelon, 1962). En nuestro país, y en duraznero, hemos comprobado una eficiencia

curativa de casi el 100% con una dosis de 200 g/árbol (ORIOLANI *et al.*, 1971), pero su efecto residual no superó el año, lo que hace onerosa su aplicación. En citrus ASSO y DANTUR (1972) consiguieron un excelente grado de recuperación al cabo de 2-3 meses, después de la incorporación de 50 g/árbol de Fe EDDHA. Con esta dosis el tratamiento debe repetirse anualmente, pero con 150 g/árbol los efectos duran de 30 a 36 meses.

4.1.2. *Aplicaciones edáficas mediante el agua de riego.* Experiencias de WALLACE y NORTH (1966) indicarían la posibilidad de reducir drásticamente la cantidad de producto necesario aplicando el Fe EDDHA disuelto en el agua de riego. En experiencias con naranjo sobre pie susceptible en suelo calcáreo, estos autores previnieron la aparición de clorosis mediante la aplicación de aproximadamente 10 kg/ha/año de producto comercial (F 138 Geigy) en 4.500 m^3 de agua de riego. No obra en nuestro conocimiento datos confirmatorios posteriores.

4.1.3. *Aumento indirecto de la disponibilidad del hierro.* La acidificación del suelo puede aumentar la disponibilidad del Fe y de esta forma prevenir la clorosis. En general, los antecedentes relativos a los efectos de las azufraduras no son muy alentadores; posiblemente las dosis aplicadas fueron insuficientes para contrarrestar la capacidad amortiguadora de los suelos ensayados y/o baja la eficiencia de la necesaria oxidación biológica. En cambio en arroz, en suelos clorosantes y bajo sumersión, la aplicación de ácido sulfúrico tuvo efectos espectaculares sobre el rendimiento: más de 2.200 kg/ha de incremento sobre un testigo de 1.600 kg/ha (WESTFALL *et al.*, 1971 b). Para ello se utilizaron 800 l/ha de ácido concentrado.

4.1.4. *Aplicaciones a la planta.* Las pulverizaciones sobre el follaje son de eficacia relativa por su efecto localizado, probabilidad de quemaduras y necesidad de aplicaciones reiteradas por falta de transporte a las nuevas hojas.

Se citan, sin embargo, resultados satisfactorios en porotos, soja, lenteja y caupi en Méjico, con dos aplicaciones de $FeSO_4$ al 1,5 – 2 %, a los 8 y 16 días de emergencia (LARREA, 1969); en ese mismo país, en vid, con una pulverización de 2 g/l de DTPA, dos semanas antes de floración (MAYAGOITIA *et al.*, 1959); en maní, en Israel, con 10 kg/ha de Fe EDDHA aplicado en dos veces, a los 22 y 45 días de la siembra (LACHOVER *et al.*, 1970); en sorgo con $FeSO_4$ al 2%, en la India (KORADDI *et al.*, 1969) y al 3% y 4%, 2 ó 3 aplicaciones, en Kansas (WITHEE y CARLSON, 1969). Estos últimos autores observaron que los mejores resultados se obtienen cuando la pulverización se hace en condiciones de baja temperatura y alta humedad relativa. Al parecer, el factor crítico es el tiempo de secado, el que no debiera ser menor de 7 a 8 minutos.

El empleo de tenso-activos en concentraciones elevadas (0,5 % de dioctilsulfosuccionato de Na, por ejemplo; WALLINHAN *et al.*, 1964) en horas de máxima abertura estomática puede mejorar notablemente la eficiencia de las pulverizaciones.

De acuerdo a SZÁVA *et al.* (1969), un quelato desarrollado en Hungría, el Klorofer 4 (dimetilamino-bis-2-hidrofenil-5 sulfonato de K_2Fe) sería eficaz para curar la clorosis calcárea de vides injertadas tanto en pies tolerantes como en sensibles.

Para frutales también se han preconizado las inyecciones sólidas y líquidas en el tronco (CARPENA ARTÉS *et al.*, 1965) y la pintura de heridas de poda con sales férricas durante el reposo invernal.

Por nuestra parte, hemos tenido éxitos parciales mediante la introducción de clavos en los troncos de vid y pulverizaciones de $FeSO_4$, úrea y fuerte concentración de humectante en vid, maíz, sorgo, maní y álamos; pero los resultados no están totalmente exentos de los defectos de localización y transitoriedad de la acción.

Este es un campo de amplias perspectivas para profundizar.

4.2. *Normas de manejo*

Del panorama que presentamos en este relato, surge que existen un conjunto de factores, todavía no del todo conocidos en su gravitación individual ni en su interacción recíproca, que inciden determinando la aparición de la clorosis férrica. De ese conocimiento se deducen las siguientes normas generales de manejo, que pueden prevenir o aliviar el síndrome clorótico en condiciones de suelo predisponentes y de cultivo sensible:

1º) Evitar el entierro de material orgánico inmediatamente antes o en el período de activo desarrollo del cultivo.

2º) En la agricultura de riego, adoptar el régimen hídrico de menor nivel medio de agua disponible que sea compatible con una producción satisfactoria. Evitar elevados tenores de humedad edáfica en la totalidad del volumen de suelo en forma simultánea, favoreciendo la aireación mediante el método de riego por surcos convenientemente espaciados o alternados entre las hileras de frutales.

3º) En la agricultura de secano, evitar los encharcamientos con labores adecuadas.

4º) Extremar las precauciones en la fertilización con fósforo y nitrógeno, los que deben aplicarse sólo cuando los análisis previos, edáficos y tisulares, así lo aconsejen.

5. ENFOQUES PARA EL FUTURO

Durante el desarrollo del relato se plantearon diversos interrogantes que hacen a los mecanismos fundamentales de la clorosis férrica y se indicaron campos específicos que requieren profundización. Como edafólogos, aún no poseemos todos los elementos que

nos permitan calificar y cuantificar anticipadamente el peligro clorosante de un suelo determinado a través de sus características morfoanalíticas.

Reafirmamos nuestro convencimiento de que la importancia potencial de la clorosis férrica, ya sea como manifestación aguda o como subdeficiencia inadvertida, hace que merezca ser estudiada en nuestro país en todas las situaciones de suelo predisponentes y cultivos sensibles para cuantificar su incidencia y establecer la metodología de diagnóstico y las normas para su prevención y lucha más adecuadas en cada caso.

LITERATURA CITADA

Aso, P. J. y N. C. Dantur, 1972, *La deficiencia de hierro de los citrus en Tucumán.* Rev. Ind. Agríc. Tuc. *49* (2): 9-16.

Bandurski, R. S., 1955, *Further studies on the enyzmatic synthesis of oxaloacetate from phosphoenolpyruvate and carbon dioxide.* J. Biol. Chem. 217: 137-150.

Bar Akva, A. and R. Lavon, 1968, *Peroxidase activity as an indicator of the iron requirement of citurs plants.* Israel J. Agr. Sci. *18* (4): 145-153.

Baxter, P. and R. Belcher, 1955, *The role of the bicarbonate ion in lime induced chlorosis. J. Austr. Inst. Agric. Sci. 21*: 32-34.

Belle-Jones, E. W., 1955, *The interrelations of iron and potassium in the potato plant.* Plant & Soil *6*: 129-173.

Blanc-Aicard, D. et G. Drouineau, 1955, *Capacité de saturation en calcium des porte-greffes de vigne et résistence á la chlorose calcaire.* Comp. Rend. Hebd. Sceàn. Acad. Scienc. *241*: 1614-1616. Paris.

Boishot, P.; M. Durroux et G. Sylvestre, 1950, *Etude sur la fixation du Fer et du Manganése dans les sols calcaires.* Annales de l'Inst. Nat. Recherche Agron. *I* (3): 307-315.

Boneva, K., 1969, *A study of the lime chlorosis in the Kazanluk oil-hearing Rose (Rosa Damascena Mill.).* Resum. inglés, original en Búlgaro. Pochvoznanie y Agrochimia *IV* (3): 65-71.

Brown, J. C., 1961, *Iron chlorosis in plants. Adv. Agron. 13*: 329-369.

———; R. E. Shapiro and. A. Specht, 1955, *Effects of phosphorus and copper salts on iron chlorosis of rice in flooded and non-flooded soil and the associated enzymatic activity.* Soil Sci. 79: 363-372.

———; L. O. Tiffin; R. S. Holmes; A. W. Specht and J. W. Resnicky, 1959, *Internal inactivation of iron in soybeans as affected by root growth medium. Soil Sci. 87*: 89-94.

———; L. O. Tiffin and R. S. Holmes, 1960, *Competition between chelating agents and roots as factor affecting absorption of iron and other ions by plant species.* Plant Physiol. 35 (6): 878-886.

———; R. J. Holmes and L. O. Tiffin, 1961, *Iron chlorosis in soybeans as related to the genotype of rootstalk*: 3. *Chlorosis susceptibility and reductive capacity of the root. Soil Sci. 91*: 127-132.

BURGHESS, P. S. and G. G. POHLMAN, 1928, *Citrus chlorosis as affected by irrigation and fertilizer treatmens.* Arizona Agr. Exp. Stn. Bull. *124*: 183-232.

BUSLOVA, E. P., 1946, *Study of plant chlorosis for the classification of the role of iron in the synthesis and accumulation of chlorophyll.* Trudy Inst. Fiziol. Rastenii *4*: 154-160 (Chem. Abs. *42*: 4248, 1948).

CAIN, J. C. and R. W. HOLLEY, 1955, *A comparison of chlorotic and green blueberry leaf tissue with respect to free amino acid and basic cation contents.* Proc. amer. Soc. Hort. Sci. *56*: 49-53.

CÁRPENA ARTES, O.; M. G. GUILLEN y S. A. SANCHEZ, 1957, *La clorosis férrica del limonero.* I. Anal. Edaf. Fisiol. Veg. *16*: 259-272. Madrid.

— — — —; A. ORTUÑO MARTÍNEZ y S. LLORENTE FRANCO, 1965, *Nuevas orientaciones en los tratamientos curativos de la deficiencia de hierro.* Anal. Edaf. Agrobiol. *24* (3-4): 179-192. Madrid.

DE KOCK, P. C., 1955, *Iron nutrition of plants at high pH.* Soil Sci. 79: 167-175.

— — — — and R. I. MORRISON, 1958, *The metabolism of chlorotic leaves. 2. Organic acids.* Biochem. J. *70*: 272-277.

— — — —; A. HALL and M. A. McDONALD, 1960, *A relation between the ratios of phosphorus to iron and potassium to calcium in mustard leaves.* Plant & Soil *12*: 128-142.

DROUINEAU, G., 1941, *Dosage rapide du calcaire actif des sols.* Ann. Agr. *12*: 441-450.

ELGALA, A. M. and R. H. MAIER, 1964, *Chemical forms of plant and soil iron as influenced by soil moisture.* Plant & Soil *21* (2): 201-212.

FROLICH, E. and A. WALLACE, 1966, *Effect of ammonium and nitrate nitrogen on iron chlorosis.* In A. Wallace, ed., *Current topics in Plant Nutrition,* Los Angeles, California, pp. 1-2.

GARTEL, W. 1965. *Uber die Ursachen der Chlorose auf verdichteten Kalkböden.* Weinberg und Keller 1965: 143-164.

GALET, P. 1947. *La resistance des porte-greffes á la chlorose.* Progrés Agricole et Viticole, 1947: 128.

GAUCH, H. G. 1957. *Mineral nutrition of plants.* Ann. Rev. Plant Physiol. *8*: 31-64.

GIME, J. P. and J. C. HODGSON. 1968. *An investigation of the ecological significance of lime - chlorosis by means of large scale comparative experiments.* In: "*Ecological aspects of the mineral nutrition of plants*' I. H. RORISON, edit., Symp. Brit. Ecol. Soc. Nº 9: 67 - 99 (Soils & Fert. 33: 3107).

GREENWALD, I. 1945. *The effect of phosphate on the solubility of calcium carbonate and bicarbonate on the solubility of calcium and magnesium phosphates.* J. Biol. Chem. *161*: 697 - 704.

GRIS, E. 1843. *Memoir relatif a l'action des composés solubles ferrugineax sur la végetation.* Compt. Rend Acad. Sci. (Paris) *17*: 679.

GUENNELON, R. 1962. *Les chélates de fer dans le traitement de la chlorose du poirier.* Acad. D'Agric. de France: 209 - 213.

HARLEY, C. P. and R. C. LINDER. 1945. *Observed responses of apple and pear trees to some irrigation waters of North Central Washington.* Proc. am. Soc. Hort. Sci. *46*: 35 - 44.

HEWITT, E. J. *Essential nutrient elements for plants.* In: Steward, F. C., edit. *Plant Physiology,* vol. III, chapter 2, Academic Press, New York.

— — — — and E. W. BELLE - JONES. 1953. *Studies on iron deficiency of crops. II. The interrelationships of iron and potassium in the potato plant.* J. Hort. Sci. *28*: 185 - 195.

HOFFER, G N. 1930. *Testing corn stalks chemically to aid in determining their plant food needs.* Perdue Univ. Agric. Exp. Stn., Ext. Bull. 298.

HUNTER, J. G. and O. VERGNANO. *Trace - element toxicities in oat plants.* Ann. Appl. Biol. *40*: 761 - 777.

HUTCHINSON, T. C. 1939. *Lime chlorosis as a factor in seedling establishment of calcareous soils. II. The development of leaf water deficits in plants showing lime chlorosis.* New Phytol. *96*: 143 - 157 (Soils & Fert. 33: 3102).

ILJIN, W. S. 1947. *Kalzose (Kalkchlorose) und Stoffwechsel beim Apfel und Kirshbaum.* Sitzungberichte der mathem, Naturw. Akad. Wiss., Viena *156*: 87 - 152.

— — — — 1951 y 1952. *Metabolism of plants affected with lime induced chlorosis (Calciose). I, II y III.* Plant & Soil 3: 239 - 256; 3: 339 - 351 y 4: 11 - 27.

— — — — 1953. *Bioquímica de plantas cloróticas desarrolladas en suelos calcáreos.* Agron. Trop. 3: 175 - 199. Venezuela.

ISHIHARA, M. 1968. *Chlorosis of Japanese pear tree. I. Leafy, fine roots and soil analysis in chlorotic Japanese pear orchard.* Bull. hort. Res. Stn. Hiratsuka 7: 72 - 92. (Soils & Fert. 33: 4959).

JACOBSON, L. 1945. *Iron in the leaves and chloroplasts of some plants in relation to chlorophyll content.* Plant. Physiol. *20*: 233 - 245.

— — — — and J. J. OERTLI. 1956. *The relation between iron and clorophyll contents in chlorotic sunflower leaves.* Plant Physiol. *31*: 199 - 204.

JOHNSON, G. V. and R. A. YOUNG. 1973. *Evaluation of* EDDHA *as an extraction and analytical reagent for assesing the iron status of soils.* Soil Sci. *115* (1): 11 - 17.

JURITZ, C. F. 1912. Agronomy J. Union S. Africa *4*: 854 - 865, cit. by Brown, 1961.

JUSTE, C. et R. POUGET. 1972. *Appréciation du pouvoir chlorosant des sols par un nouvel indice faisant intervenir le calcaire actif et le fer facilment extractible.* Comp. Rend. Hebdom. Scéanc. Acad. Agric. France 58 (5): 352 - 357.

KESSLER, B. 1957. *Effect of certain nucleic acid components upon the status of iron, deoxyribonucleic acid and lime - induced chlorosis in fruit trees.* Nature *179*: 1015 - 1016.

— — — — 1958. *Further evidence on the effect of bicarbonate ions upon nucleic acid metabolism and iron uptake in fruit trees susceptible and non susceptible to limeinduced chlorosis.* Ktavim 8 (3 - 4): 287 - 293.

KORADDI, V. R.; R. V. KULKARNI and N. B. KAHARI. 1969. *Lime induced chlorosis in hybrid sorghum.* Mysroe J. Agric. Soi. 3: 116 - 117 (Soils & Fert. 32: 4832).

KUYKENDALL, J. R. 1956. *The occurrence of iron chlorosis in the United States with particular respect to the occurrence of lime induced chlorosis.* Soil Sci. *84:* 24 - 28.

LACHOVER, P.; M. FICHMAN and A. HAR TZOOK. 1970. *The use of iron chelate to correct chlorosis in peanuts under field conditions.* Oléagineux 25: 85 - 88.

LARREA, E. R. 1969. *Clorosis en leguminosas de grano en el Norte de Tamaulipas.* Agric. Técn. México Nº 50: 437 - 471.

LEEPER, G. W. 1952. *Factors affecting availability of inorganic nutrients in soils with special reference to micronutrients elements.* Ann. Rev. Plant Physiol. 3: 1 - 16.

LINNER, R. C. and C. P. HARLEY. 1944. *Nutrient interrelation in lime - induced chlorosis.* Plant Physiol. *19:* 420 - 439.

LINDSAY, W. L. and D. W. THORNE. 1954. *Bicarbonate ion and oxygen level as relat to chlorosis.* Soil Sci. 77: 271 - 279.

— — — — and W. A. NORVELL. 1969. *Development of a* DPTA *micronutrient soil test.* Agron. Abstr., Am. Soc. Agron., p. 84.

MAYAGOITIA, H. D.; C. UZCANGA y A. UZCANGA. 1959. *Clorosis en los viñedos de la Comarca Lagunera.* Ciencia, México, *19* (1 - 3): 32 - 36.

MCGEORGE, W. T. 1948. *Nutrient interrelations in lime - induced chlorosis as revealeil by seedling tests and field experiments.* Univ. Arizona Techn. Bull. Nº *116:* 297 - 338.

MILLER, G. W. and H. J. EVANS. 1956. *Inhibition of plant cytochrome oxidase by bicarbonate.* Nature *178:* 974 - 976.

— — — —; J. C. BROWN and R. S. HOLMES. 1960. *Chlorosis in soybean as related to iron, phosphorus, bicarbonate and cytochrome oxidase activity.* Plant Physiol. *35* (5): 619 - 625.

MOKADY, R. 1961. *Soil aggregation and lime content as factor in lime-induced chlorosis.* Plant & Soil *15:* 367 - 376.

— — — — 1961. *The affect of partial pressure of oxygen in field soils on lime-induced chlorosis.* Plant & Soil *15* (4): 377 - 386.

MOLTZ, E. 1907. *Untersuchungen uber die Chlorose der Reben.* Abd. aus d. Central f. Bakt. Parasitenk, u. Infektions - Krank. II Abt. *19:* 101. Jena.

MORTVEDT, J. J. and P. M. GIORDANO. 1971. *Response of grain sorghum to iron sources applied alone or with fertilizers.* Agron. J. *63:* 788-761.

NASON, A. and D. MCELROY. 1963. *Modes of action of the essential mineral elements.* In: Steward, F. C., edit., *Plant Physiology,* vol. III, chapter 4, Academic Press, N. York.

NIJENSOHN, L. 1962. *Sobre el problema de la clorosis de la vid en San Juan.* Informe preliminar (inéd.), Fac. Cienc. Agr., Cát. Edafología - U. N. C.

— — — — y O. C. Pizarro. Un *procedimiento para la determinación del calcáreo activo en suelos orgánico - yesosos.* Inst. Prov. Agropec., Bol. Técn. Nº 2: 3 - 44. Mendoza.

— — — —; F. Guimard; R. Soria y A. Piotti. 1969. *Clorosis de álamos en Santiago del Estero.* Corporación del Río Dulce. Inédito.

— — — —; F. S. Olmos y M. O. Avellaneda. 1973. *Caracterización de clorosis férrica en vid.* Inédto.

Noack, K. und H. Liebich. 1941. Die *Eisengarnitur der Chloroplasten von Spinat.* Naturwiss. 29: 302.

North, C. P. and A. Wallace. 1952. *Lime induced chlorosis in avocado and a possible method of control.* Calif. Avocado Soc. Yearbook 38: 198 - 202.

— — — — 1959. *Nitrogen effects on chlorosis in Macadamia.* Yearbook Calif. Macadamia Society.

Olsen, S. R.; C. V. Cole; F. Watanabe and L. A. Dean. 1954. *Estimation of available phosphorus in soils by extration with sodium bicarbonate.* US Dept. Agric. Circ. Nº 939.

Oriolani, M. J. C.; O. D. Wouters; L. Nijensoihn y N. Devige. 1971. *Tratamientos de plantas de duraznero con clorosis férrica.* CITEF, Relatos y Conclusiones del Simposio: "Mendoza productora y exportadora de duraznos envasados", pág. 108 bis, Mendoza.

Oserkowsky, J. 1933. *Quantitative relation between chlorophyll and iron in green and chlorotic pear leaves.* Plant Physiol. 8: 449-468.

Poel, L. W. 1953. Carbon dioxide fixation by barley roots. J. Exptl. Bot. 4: 157-163.

Pouget, R. et C. Juste. 1965. *Influence de la chlorose ferrique sur la composition et les propiétés de la séve de la vigne: Résultats préliminaires.* Acad. D'Agric. de France, 1965: 98-105.

Rabinowitch, E. I. 1945. *Photosynthesis and Related Processes.* Vol. I, pp. 172-212. Interscience Publishers. Inc., New York.

Rastorgoeva, L. I. y L. K. Ostrovskaya. 1971. *Disturbios en el metabolismo de lupino por clorosis caliza* (En Ruso). Agrojimia Nº 5: 103-112 (Soils & Fert. 34 (5): 4135).

Reuther, W. and C. L. Crawford. 1946. *Effect of certain soil and irrigation treatments on citrus chlorosis on calcareous soils.* Soil Sci. 62: 477-491.

Rhoades, W. A. and O. Wallace. 1960. *Possible involvement of dark fixation of CO_2 in lime-induced chlorosis.* Soil Sci. 89: 248-256.

Rogers, C. H. and J. W. Shive. 1932. *Factor affecting the distribution of iron in plants.* Plant Physiol. 7: 227-252.

Saglio, P. 1969. *Chlorose ferrique sur orangers induite par irrigation a l'eau saumatre dans la région de Tunis.* Comp. Rend. Scéances Acad. Agric. France 55 (10): 741-750

Samish, R. M. 1954. *A contribution to the knowledge of lime-induced chlorosis in grape vines.* In: *Analyse des Plantes et Problémes des Engrais Minéraux.* pp. 156-165. VIII Congrés Intern. de Botan. Paris.

— — — — and M. HOFFMAN. 1964. *The control of micronutrient deficiencies in tree crops.* In: *Plant Analysis and Fertilizers Problems,* Edit. C. Bould, P. Prevot and J. R. Magness, vol. IV, pp. 414-421, publ. by Amer. Soc. Hort. Sci.

SIDERIS, C. P. 1955. *Interdependence of iron and nitrogen in pineapple chlorosis.* Plant Physiol. *30* (Suppl.): 32-33.

SMITH, F. F.; W REUTHER and. A. W. SPECHT. 1950. *Mineral composition of chlorotic orange leaves and some observations on the relation of sample preparation techniques to the interpretation of results.* Plant Physiol. 25: 496-506.

— — — — and A. W. SPECHT. 1953. *Heavy metal nutrition and iron chlorosis of citrus seedlings.* Plant Physiol. 28: 371-382.

STEBBINS, R. L.; G. JOHNSON; D. K. JOHNSON. 1963. *Responses of peach to applications of nitrogen and chelated iron in Colorado.* Proc. am. Soc. hort. Sci. *82*: 114-119.

STEINBERG, R. A.; J. D. BAWLING and MCMURTREY, Jr. 1949. *A possible explanation of symptom formation in tobacco with frenching and mineral deficiencies. Science 110:* 714-715.

SZÁVA, J.; D. SÁROSI y R. TÖTOS. 1969. *Tratamento de clorosis caliza con quelatos Húngraos.* (En Húngaro) (Soils & Fert. *34* (3): 262).

THORNE, D. W. 1955. *Lime induced chlorosis.* What's new in crops and soils? *7* (8).

— — — — and. A. WALLACE. 1944. *Some factors affecting chlorosis in high lime soils. I. Ferrous and ferric iron.* Soil Sci. *57:* 299-312.

— — — —; F. B. WANN and W ROBINSON. 1950. *Hypotheses concerning lime-induced chlorosis.* Soil Sci. Soc. Am. Proc. *15:* 254-258.

WADLEIGH, C. H. and J. W. BROWN. 1952. *The chemical status of bean plants afflicted with bicarbonate-induced chlorosis.* Bot. Gaz. *113:* 373-392.

WALLACE, A. 1962. *Chelation in heavy-metal induced iron chlorosis.* In: *A decade of synthetic chelating agents in inorganic plant nutrition.* Edit. by A. WALLACE, Los Angeles, Calif., pp. 25-27.

— — — — 1966. *Ten years of iron EDDHA use in correcting iron chlorosis in plants.* In: *Current topics in Plant Nutrition,* edit. A. WALLACE, Los Angeles, Calf., pp. 1-2.

— — — — and O. R. LUNT. 1960. *Iron chlorosis in horticultural plants. A. Review.* Amer. Soc. hort. Sci. Proc. *75:* 819-841.

— — — — and V. Q. HALE. 1962. *A hypothesis of the cause of lime-induced chlorosis.* In: *A decade of synthetic chelating agents in inorganic plant nutrition,* edit. by A. WALLACE, Los Angeles, Calif., pp. 28-34.

— — — — and Ch. P. NORTH. 1966. *Supplying Fe EDDHA to orange trees in the irrigation water.* In: *Current topics in Plant Nutrition,* edit. b. A. WALLACE, Los Angeles, Calif., pág. 15.

WALLACE, T. 1928. *Leaf scorch of fruit trees.* J. Pomol. Hort. Sci. *6:* 243-281 y 7: 1-31.

— — — —. 1935. *Investigations on chlorosis of fruit trees. V. The control of lime-induced chlorosis by infection of iron salts.* J. Pomol. Hort. Sci. *13:* 54-67.

WALLIHAN, E. F. 1955. *Relation of chlorosis to concentration of iron in citrus leaves.* Am. J. Bot. 42: 101-104.

— — — —; T. W. EMBLETON and R. G. SHARPLESS. 1964. *Response of chloritic citurs leaves to iron sprays in relation to surfactants and stomatal apertures.* Proc. Am. Soc. Hort. Sci. *85:* 210-217.

WARNOCK, W. E. 1952. *The iron content of some plants as influenced by conditions associated with lime-induced chlorosis.* M. S. Thesis, Utah Sta Univ., Logan, Utah, cit. Miller et al., 1960.

WEINSTEIN, L. H. and W. R. ROBBINS. 1955. *The effect of different iron and and manganese nutrent levels on the catalase and citochromoxidase activies of green and albino sunflower leaf tissues.* Plant Physiol. *30:* 27-32.

WEISS, M. G. 1943. *Inheritance and Physiology of efficiency in iron utilization in soybeans.* Genetics *23:* 253-268.

WESTFALL, D. G.; W B. ANDERSON and R. J. HODGES. 1971 a. *Iron and zinc response of chlorotic rice grown on calcareous soils.* Agron. J. *63:* 701-705.

— — — — — — — —. 1971 b. *Chlorosis of rice grown on calcareous soils and its amelioration with iron, zinc and sulfuric acid.* Progress Rep. 2097, Texas A & M Univ., Texas Agric. Exp. Stn.

WITHEE, L. V. and. C. W. CARLSON. 1959. *Foliar and soil application of iron compounds to control iron chlorosis of grain sorghum.* Agron. J. *51:* 474-476.

YULIN SU, L. and G. W. MILLER. 1961. *Chlorosis in higler plants as related to organic acid content.* Plant Physiol. *36* (4): 415-420.