

CLOROSIS FERRICA EN CITRICOS

Con el término clorosis se designa una enfermedad consistente en la destrucción de la clorofila de las hojas con la aparición del color amarillo típico en el limbo, quedando apenas los nervios de color verde. El término «clorosis férrica» se reserva a aquellas clorosis que se corrigen con la aplicación de sales de hierro.

PAPEL DEL HIERRO

La importancia del hierro en la fisiología y bioquímica de las plantas es conocida desde hace más de un siglo. En principio se pensó que el hierro formaba parte de la molécula de clorofila, al igual que en la hemoglobina sanguínea, pero Willstater y Stell pusieron de manifiesto que era el magnesio y no el hierro el componente de la molécula de clorofila.

La función del hierro en la formación de la clorofila es un problema todavía no resuelto, pero parece que interviene activando el sistema enzimático que cataliza las reacciones conducentes a la formación de este pigmento.

Por otra parte, se sabe que el hierro forma parte de pigmentos (citocromos) esenciales en los procesos respiratorios. Asimismo interviene en la fotosíntesis, formando parte de transportadores de electrones, tales como la cerredosina.

Los niveles de hierro en los cítricos influyen en los niveles de otros elementos esenciales. Se ha podido comprobar, en limoneros, que valores deficientes de hierro alteran los correspondientes de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y manganeso, y no sólo esto, sino que también se ha podido observar su comportamiento durante el restablecimiento a la normalidad de tales contenidos, cuando, por tratamiento correcto, se han vuelto a llevar los valores foliares a su nivel óptimo. Así, se observa un alza considerable en los niveles foliares de nitrógeno y fósforo, lo que determi-

na un brusco aumento de sus relaciones en casos de deficiencia de hierro.

SINTOMAS CARENCIALES

En los cítricos, como en los restantes frutales, la carencia de hierro se manifiesta por la clorosis de las hojas. El limbo foliar toma un color verde pálido uniforme que evoluciona gradualmente a amarillo casi blanco, en los casos más graves. Únicamente las nervaduras se destacan con un color verde oscuro dibujando una red. Posteriormente, sólo la nervadura central conserva un poco de clorofila.

Si la carencia se mantiene, la clorosis puede ir acompañada de zonas necróticas irregulares, que se localizan con más frecuencia en el borde del limbo; las hojas disminuyen de tamaño y acaban por caer, desguarneciendo ramos y ramas, con los consiguientes resecos.

Esta clorosis comienza en las hojas más jóvenes y se extiende poco a poco a las partes más antiguas, lo que hace pensar que las reservas acumuladas en las hojas viejas son incapaces de socorrer las necesidades de los órganos más jóvenes. Las sucesivas brotaciones se ven afectadas progresivamente con mayor intensidad, teniendo las hojas cada vez menor tamaño, y más tarde cesan de producirse nuevas brotaciones. En los frutos no se observan síntomas definidos, salvo que, en los casos graves, los frutos quedan amarillos, color que adquieren prematuramente, de aspecto céreo.

En el pomelo los síntomas difieren algo de los descritos. Las hojas son pequeñas, algo más estrechas, de color verde pálido, con los nervios destacando por su color más intenso, pero al madurar la hoja se desvanece esta característica y aparecen zonas pardo oscuras.

A menudo es difícil distinguir la carencia de hierro de la de manganeso, pero en el caso de este último la decoloración de las hojas se nota en la totalidad del follaje.

La sumersión de las hojas cloróticas en di-

soluciones de sulfato de hierro o manganeso nos dará la clave observando en qué caso se logra la remisión de los síntomas observados.

En ocasiones, al corregir por vía foliar una carencia de manganeso, aparecen síntomas carenciales de hierro, manifestándose de esta forma un estado carencial enmascarado. Por otra parte, debido al antagonismo entre el manganeso y el hierro, al corregir un estado deficitario del primero, puede exacerbarse la deficiencia del segundo, por lo que se hace conveniente corregir simultáneamente ambas deficiencias cuando se hallan presentes en el mismo árbol.

Puede ocurrir, asimismo, que el empleo de quelatos de hierro haga aparecer síntomas carenciales de manganeso. Parece que la molécula quelante, al penetrar en los tejidos de la planta y soltar los átomos de hierro, «secuestra» átomos de manganeso, dando lugar a la aparición de los síntomas foliares.

EL HIERRO EN EL SUELO

En general, las tierras son suficientemente ricas en hierro en relación con las necesidades de los cítricos. Sin embargo, las plantas sólo son capaces de utilizar determinadas formas, por lo que la cantidad total de hierro que contiene un suelo es un índice que nada o casi nada dice acerca de las posibilidades de alimentación de los cultivos.

El hierro puede encontrarse en estado ferroso, bien de forma temporal o, más raramente, permanente. Este hierro ferroso, relativamente *soluble*, sólo es estable en medios reductores y pH ácido; tales medios son poco adecuados para la vida de las raíces, por lo que hay que pensar que interviene poco en la alimentación de los cítricos. A pH neutro o alcalino, el hierro ferroso se oxida a estado férrico en presencia de oxígeno, originándose precipitados de hidróxidos férricos, de color amarillo o rojizo. También los minerales ferruginosos, y sobre todo los silicatos, sufren en el suelo fenómenos de degradación con producción de óxido de hierro y más frecuentemente hidróxidos de hierro trivalente. Estos hidróxidos amorfos coloidales son electropositivos, uniéndose, por tanto, a la arcilla electronegativa, formando un sistema floculado, deshidratándose poco a poco, tendiendo a transformarse en formas cristalizadas de color rojo.

Junto a estos óxidos existen complejos minerales u orgánicos, relativamente estables en medio alcalino, los cuales representan una de las formas posibles de traslocación de hierro en el suelo.

Experiencias llevadas a cabo en cultivos hidropónicos con limonero, parecen indicar que las raíces de los cítricos son capaces de disolver el hierro férrico por medio de sus excreciones ácidas, como lo demuestra el hecho de que tales plantas fuesen capaces de tomar el hierro de mineral de magnetita. Incluso las raíces de cítricos parecen capaces de alimentarse a partir de complejos minerales u orgánicos siempre que las moléculas sean suficientemente pequeñas.

Se denomina «hierro libre» el que no está contenido en los minerales primarios, encontrándose depositado en la superficie de las partículas minerales o floculado con complejos únicos, siendo, sin duda, la forma más accesible a las raíces y la más susceptible de formar complejos. La determinación de este hierro libre, aun no bastando para conocer las condiciones de alimentación, puede resultar de indudable interés en muchos casos.

CAUSAS DE LA CLOROSIS

Son varias las causas que pueden provocar la aparición, en las plantaciones de cítricos, de síntomas de clorosis férrica. A continuación pasamos revista a las más importantes.

Suelos calizos y/o de reacción básica

La clorosis férrica aparece frecuentemente en suelos calizos o, más generalmente, en suelos de reacción básica.

Existen dos teorías para explicar, esquemáticamente, el mecanismo de inducción de la clorosis en un medio básico:

El hierro se vuelve inasimilable por la propia basicidad del medio que mantiene el hierro al estado férrico insoluble; sin embargo, podría ser utilizado gracias a ciertas excreciones radiculares (ácidos-alcoholes) que las plantas sensibles a la clorosis sólo producen en cantidades débiles.

El hierro es absorbido por las raíces, pasando inmediatamente a formar compuestos insolubles poco móviles, que no participan en el metabolismo; una mayor absorción de hierro permitiría compensar dicha inmovilización relativa, pero la basicidad del medio hace precisamente que la absorción sea más difícil.



Sin embargo, en muchas ocasiones, no se puede obtener una clara correlación entre el grado de clorosis y el valor de los índices de caliza, caliza activa y carbonatos totales, obtenidos mediante el análisis de la tierra. Sería interesante estudiar las posibles correlaciones entre grado de clorosis y calcio soluble más intercambiable.

Exceso de humedad en el suelo

Con mucha frecuencia, la causa directa de la aparición de la clorosis es un exceso de humedad en el suelo.

El mecanismo por el cual se produce esta clorosis no está bien esclarecido. Un exceso de humedad en el suelo da lugar a unas condiciones reductoras, debido a la falta de suficiente aireación en el suelo, lo que si bien, en principio, es favorable para mantener el hierro en fase ferrosa, impide el normal funcionamiento del sistema radicular, debilitándolo, con lo que la absorción de hierro se dificulta.

En estos casos, un mejor control de los riegos basado en el estado de humedad del suelo (mediante tensiómetros, por ejemplo), el riego por mitades alternas, mejora del drenaje, etcétera, suele ser suficiente para restablecer la normalidad.

La calidad del agua empleada en el riego tiene también influencia en la aparición de la clorosis, agravándose los síntomas cuando el contenido salino supera los niveles aconsejables. La presencia de ión bicarbonato en las aguas es una causa directa de clorosis (sobre todo en los suelos poco ácidos).

El empleo de aguas de pozo en los meses de verano puede dar lugar a la aparición de síntomas cloróticos cuando estas aguas salen a una temperatura inferior al ambiente y se emplean directamente para el riego, provocando un choque fisiológico en los árboles, cuyas raíces se encuentran a una temperatura superior en varios grados a la del agua.

Clorosis de frío

Los cítricos, y particularmente el limonero, son especialmente sensibles a la clorosis provocada por frío (sin que se trate de heladas).

Las bajas temperaturas (inferiores al cero vital de los cítricos, que es de 12,8 grados centígrados) provocan una detención de las reacciones bioquímicas que conducen a la formación de clorofila, causando también la destrucción de la existente.

En ocasiones este fenómeno es transitorio y desaparece al elevarse la temperatura, pero cuando se presenta el frío con más intensidad o persistencia, los síntomas empeoran y la clorosis se agrava, pudiéndose llegar a la disolución de los plastidios, lo que hace irreversibles los síntomas en las hojas afectadas, que acaban por desprenderse, sin que las aplicaciones de sales de hierro sean eficaces para evitar la caída.

Los plantones de naranjo amargo son, con frecuencia, afectados por esta causa, sobre todo en zonas arenosas poco abrigadas.

Desequilibrios nutritivos

En muchos casos, la clorosis férrica se ve favorecida por el empleo de fórmulas de abonado desequilibradas, sobre todo en terrenos calizos.

R. Stebbins señala que el empleo liberal de abonos nitrogenados en este tipo de suelos puede provocar clorosis.

Un exceso de fósforo actúa en el mismo sentido, según Butijn, al provocar, tanto en el suelo como en los vasos, la precipitación del hierro en forma de fosfato.

Inversamente, se señala que la insuficiencia potásica es origen de manifestaciones cloróticas. La absorción de potasio va acompañada de una acidificación de la rizosfera, lo que facilita la absorción del hierro; además, el contenido de ácidos cítricos en las plantas, que favorece la movilidad del hierro, aumenta al hacerlo en contenido en potasio. Sin embargo,

un exceso de potasio puede afectar desfavorablemente la nutrición férrica, aunque repercute más directamente en la asimilación del magnesio.

La materia orgánica, por su acción reductora y formadora de complejos, ejerce un efecto favorable sobre la asimilación del hierro y su movilidad en el suelo. El bajo contenido en materia orgánica en los suelos del sureste y su elevada relación C/N, son causas que colaboran con los altos contenidos calizos y la pobreza de «hierro libre» de los mismos, en la aparición de clorosis férrica.

El exceso de algunos metales, como cobre, cinc, manganeso, cobalto y otros, actúa impidiendo la absorción del hierro. Este hecho no es probable tenga importancia en nuestra zona naranjera, pues sólo en terrenos ácidos es frecuente observar fenómenos de este tipo.

Las podas severas que originan un desequilibrio entre copa y sistema radicular, pueden dar lugar a fuertes clorosis que se agravan al abusar de los riegos y abonados, sobre todo de los nitrogenados. El problema suele presentarse con más intensidad en terrenos muy calizos, y más en limoneros que en naranjos. Por otra parte, es frecuente observar árboles cloróticos a los que se somete a poda de terciado de ramas, esperando que con ello broten, agravando progresivamente los síntomas.

INFLUENCIAS DEL PATRÓN Y LA VARIEDAD

No todas las especies cítricas usadas como patrón presentan igual comportamiento en medios clorosantes, existiendo claras diferencias entre ellos.

El problema planteado por la «tristeza» obliga a utilizar otros patrones distintos del naranjo amargo, del que es conocida sobradamente su buena resistencia a la caliza y condiciones adversas del suelo.

En el siguiente cuadro recogemos el comportamiento de alguno de estos patrones:

Patrón	Resistencia a caliza
Poncirus trifoliata	Escasa
Citrange Troyer	Media a baja
Citrange carrizo	Media a baja
Naranjo dulce	Media a baja
Citrus taiwanica	Media
Mandarino común	Media a alta
Mandarino King	Buena
Mandarino Cleopatra	Elevada

También es claro el diferente comportamiento entre variedades. El limonero es más sensible que el naranjo, resultando algo más sensible el limonero Verna que el fino o Mesero.

Entre las variedades de naranja, destaca notablemente la Navelina, por su resistencia. Navelate y Valencia Late muestran también buena resistencia, siendo seguidas por Navel y Thompson. Clementina y Satsuma se encuentran entre las variedades más afectadas por la caliza.

LUCHA CONTRA LA CLOROSIS

En estos últimos años se han realizado notables progresos en la lucha contra la clorosis, progresos que, por otra parte, no son suficientemente decisivos, por lo que no es posible desechar las técnicas anteriores más imperfectas.

Los métodos de lucha podemos clasificarlos en los siguientes tipos:

1º Los que consisten en poner hierro asimilable a disposición de las plantas (raíces o partes aéreas).

2º Métodos que hacen más asimilable el hierro existente en el suelo.

Suministro de hierro asimilable a la planta

Tres caminos se siguen tradicionalmente para suministrar hierro a las plantas de cítricos:

- a) Aplicaciones de sales de hierro al suelo.
- b) Aplicaciones foliares.
- c) Inyecciones al tronco.

Aplicaciones edáficas

El sulfato de hierro se viene aplicando de forma tradicional en cantidad variable, a pesar de no obtenerse resultados claros, salvo en casos de deficiencias muy ligeras y en árboles jóvenes. El escaso efecto que se logra se debe a la rápida oxidación de la sal ferrosa a hidróxido férrico, prácticamente insoluble. Mejores resultados se consiguen cuando se aplica conjuntamente con el estiércol en proporción de 10-15 por 100, incorporándolo al suelo con una labor, ya que la acción compleja de la materia orgánica sustrae al hierro de la oxidación y facilita su absorción por las raíces.

El empleo de quelatos ha supuesto un gran avance en la lucha contra la clorosis. De todos los quelatos propuestos, es sin duda el EDDHA-Fe (Sequestrene) el más interesante por varias razones:

1. Por su estabilidad en medio básico, lo que hace más difícil el intercambio hierro-calcio en la molécula.

2. Escasa absorción por la arcilla, lo que le permite profundizar al nivel de las raíces profundas con un riego.

Sin embargo, la acción residual es corta, alcanzando dos años como máximo, lo que, unido a su elevado precio, no deja de ser un inconveniente grave. Por otro lado, la fotosensibilidad del producto y la necesidad de su aplicación localizada en suelos fuertes encarece el costo de aplicación.

Los mejores resultados se consiguen en aplicaciones de primavera, habiéndose observado una mejor acción del producto al aplicarlo conjuntamente con *urea* (unos 100 gramos de urea por árbol), probablemente debido a una acción sinérgica urea/quelato. Por otra parte, también hemos observado un notable efecto del EDDHA-Fe en árboles afectados de asfixia radical, provocando buenas movidas con hojas de color normal. Los resultados se han comprobado en limoneros Fino y Verna.

Aplicaciones foliares

Desde que se supo el origen de la clorosis, se vienen realizando aplicaciones al follaje. Tales aplicaciones son relativamente eficaces, pues dada la escasa movilidad del hierro en la planta, sólo se consiguen hacer reverdecir las hojas en los puntos de impacto de la solución; por otro lado, son frecuentes las quemaduras cuando hay fruto presente, aparte de tener que reiterar las aplicaciones, pues las nuevas brotaciones nacen cloróticas.

— El sulfato de hierro es muy corrosivo, por lo que hay que agregarle ácido cítrico, pudiéndose emplear dosis respectivas del 3 por 1.000 y 0,75 por 1.000.

— La sal de Mohr (sulfato de hierro y amonio) resulta más eficaz, pudiéndose utilizar a dosis del 4 por 1.000.

En ambos casos, la asociación de urea al 5-8 por 1.000 mejora los resultados.

Los mejores resultados se consiguen mediante aplicaciones de poliflavonoides de hierro (Chelatex, Rayplex, etc.) asociados con urea, aunque hay que repetir los tratamientos y siempre con peligro de dañar la fruta que haya tomado color.

El dimetilsulfóxido (DMSO) y ácido triiodobenzoico (TIBA) se han empleado como agentes penetrantes y difusores.

El segundo actúa realmente formando un complejo con el hierro, pero resulta menos interesante que el DMSO. Leonard señala resultados excelentes con Chelatex-Fe y DMSO al 2 por 100. En Villarreal, con prueba efectuada en naranjos, se obtuvieron buenos resultados con sal de Mohr al 4 por 1.000, urea al 5 por 1.000 y DMSO al 1 y 2 por 100. La siguiente brotación no mostró síntomas de clorosis. El mayor inconveniente estriba en el elevado precio del DMSO y su toxicidad. La fruta presente no sufrió quemaduras.

Inyecciones al tronco

Las inyecciones sólidas al tronco son un procedimiento un tanto «quirúrgico», pero aplicadas en buenas condiciones hacen reverdecir las hojas y permiten prevenir la clorosis de forma eficaz. Deben efectuarse antes de la brotación primaveral y delante de un riego, a fin de evitar el riesgo de quemaduras.

La fórmula propuesta por Carpena, como más eficaz, es la siguiente (por árbol adulto):

Sulfato de hierro	50 gr.
Acido cítrico anhidro	5 gr.
Hierro reducido	0,5 gr.

La mezcla se introduce en sendos taladros abiertos en el tronco un poco por encima del punto de unión patrón-variedad, alcanzando la médula; a continuación se vierten unos centímetros cúbicos de agua y se tapa el orificio con un «máстик». El efecto se nota al cabo de un mes o menos, con brotaciones vigorosas y verdes, persistiendo la acción residual durante unos tres años, lo que es un inconveniente, por el peligro de repetir el tratamiento.

Los resultados pueden mejorarse asociando macronutrientes, especialmente urea.

También se ha propuesto el uso del tartrato de hierro y potasio a dosis de 30-60 gramos por árbol adulto.

Técnicas que hacen más asimilable el hierro existente en el suelo

Cabe pensar, en principio, que la acidificación de un terreno acabaría con el problema de la clorosis, pero tal idea no es posible en un terreno calcáreo, en forma económica, dado que para disminuir el porcentaje de caliza en un 1 por 100, serían necesarias 10 toneladas de azufre.

La acción del azufre se produce una vez oxidado éste a ácido sulfúrico, el cual actúa sobre el complejo de cambio, provocando una disminución transitoria del porcentaje de sa-

turación por calcio, para lo cual se necesitarán especiales condiciones de humedad en el suelo.

En terrenos poco o nada calizos de reacción básica el empleo de azufre y abonos acidificantes resulta de interés.

En casos leves de clorosis suele dar buenos resultados la aplicación de abonos ácidos, conteniendo o no sulfato de hierro, en el agua de riego. Dichos abonos se obtienen por digestión en ácidos nítrico o sulfúrico.

Ya ha quedado expuesto el interés del empleo de materia orgánica, debido a la acción reductora y formadora de complejos. Igualmente son de interés los abonados en verde.

Las cubiertas vegetales pueden ser interesantes cuando la clorosis es poco acentuada. Los análisis foliares demuestran un mayor contenido de hierro en hojas en terrenos sueltos, pero, por el contrario, en terrenos fuertes, arcillosos, los contenidos foliares son menores que cultivados tradicionalmente.

La cubierta vegetal «mulch», al favorecer la proliferación de raicillas superficiales, unido al aporte de materia orgánica, puede ser eficaz cuando los horizontes superficiales son poco calizos. El incultivo con herbicidas puede resultar también interesante en casos leves de clorosis. Los análisis foliares demuestran un contenido mayor en hierro que con cultivo tradicional.

En la comarca de Orihuela seguimos una finca de riego por goteo en limoneros, al que se aplica ácido nítrico a dosis de un gramo por litro de agua. El sistema lleva sólo dos meses en funcionamiento, siendo prematuro adelantar conclusiones, aunque no se nota mejoría en el arbolado, fuertemente clorótico.

NIVELES FOLIARES

El análisis foliar es una técnica que, a pesar de sus limitaciones, resulta de utilidad para conocer el estado nutritivo de las plantas cítricas en un momento determinado, máxime si tenemos en cuenta que un estado deficitario puede ocurrir antes de la aparición de síntomas foliares. Según Chapman (1961), contenidos foliares menores de 40 p.p.m. indican deficiencia, considerando como niveles adecuados de 60 a 150 p.p.m.

Kock y Wallace (1965) indican que en ocasiones se encuentran contenidos de hierro mayores en hojas cloróticas que en hojas verdes; en tales hojas el contenido de fósforo era elevado, por lo que se puede pensar en una pre-

cipitación del hierro por el fosfato, por lo que interesaría el estudio de la relación P/Fe como índice del estado de la planta.

A continuación exponemos los niveles foliares propuestos por Carpena para limón y naranja Verna, pudiéndose observar que los niveles mínimos son superiores a los propuestos por Chapman.

HIERRO EN PARTES POR MILLON (P.P.M.)

	Naranja Verna	Limón Verna
Enero	110-140	80-100
Febrero	99-125	69- 93
Marzo	76-118	84-113
Abril	91-113	82-120
Mayo	84- 98	63- 79
Junio	99-125	86-112
Julio	82-114	67- 91
Agosto	96-114	66- 98
Septiembre	92-134	94-144
Octubre	82-118	90-132
Noviembre	107-141	119-151
Diciembre	83-101	78-100

En la actualidad la investigación se dirige en el sentido de obtener una fracción de hierro foliar que sea verdaderamente significativa del estado fisiológico de la planta, partiendo de la hipótesis generalmente aceptada de que sólo una fracción del hierro total está implicada en el metabolismo de la planta.

Los resultados obtenidos confirman las escasas relaciones existentes cuando se conjugan contenidos totales del oligoelemento, mientras que se observa estrecha relación con los niveles de hierro soluble, que adquieren su máxima significación en el caso de la peroxidasa.

ANTONIO GOMEZ GONZALEZ
JUAN CANOVAS CUENCA

BIBLIOGRAFIA

- Carpena, O., Sánchez, J. A. (1963): *La clorosis férrica del limonero*, I y II. Anales Edaf. Fisiol. Veg. 16, 259-72 y 273-92.
- Gasser, R. y Muller, G. (1956): *Les traitements contre la chlorose*. C. R. Acad. Agric., 42.
- González-Sicilia, E. (1960): *El cultivo de los agrios*. Madrid.
- Reuder, W. and C. L. Crawford (1946): *Effect of certain soil and irrigation treatments on citrus chlorosis in calcareous soil*. I. Plant responses. Soil Sci., 62:477-91.
- Reuther, W., Batchelor, L. D. and Webber, H. J. (1968): *The Citrus Industry*.
- Stewart, I. and Leonard, C. (1952): *Iron chlorosis. Its possible causes and control*. Citrus magazine. June.
- Rivero, J. M. del (1968): *Los estados de carencia de los agrios*. Edit. Mundi-Prensa.
- Trocme, S. y Gross, R. (1966): *Suelo y fertilización en fruticultura*. Edit. Mundi-Prensa.
- Wallace, A. and Bedri, A. A. (1958): *Iron and zinc foliar spray*. Calif. Agr., vol. 12, 3.