

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Corrección de la Clorosis Férrica en Arboles de Manzano (*Malus. pumila* Mill)

Por:

EMMANUEL RODRÍGUEZ DE LEÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Corrección de la Clorosis Férrica en Arboles de Manzano (*Malus. pumila* Mill).

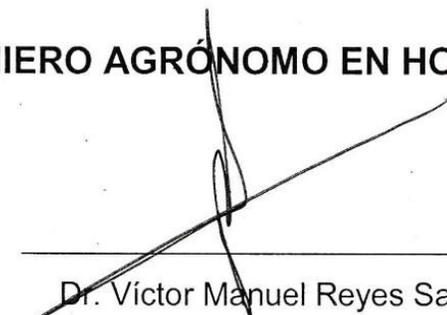
Por:

EMMANUEL RODRÍGUEZ DE LEÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

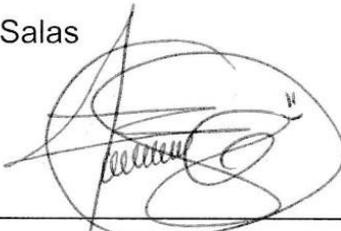
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA


Dr. Víctor Manuel Reyes Salas

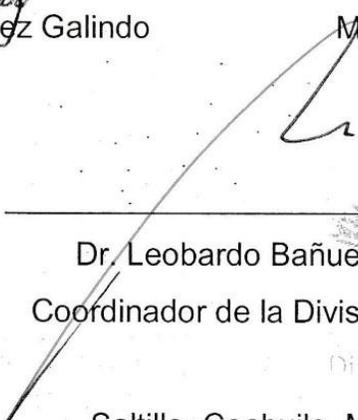
Asesor Principal


Ing. Gerardo Rodríguez Galindo

Coasesor


M.C Yanis Licet Muñoz González

Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Octubre de 2014.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso por darme la vida, por darme la oportunidad de terminar mis estudios profesionales por desampararme nunca. Señor gracias por premiarme con una familia maravillosa que siempre ruega por mi bienestar y no me han dejado solo, gracias señor por haber concluido con mi trabajo de tesis.

A mi “Alma Mater” por darme la oportunidad de formarme como profesional, por cobijarme y terminar mis estudios a nivel licenciatura, por recibirme con los brazos abiertos y medio la posibilidad de alcanzar mi meta profesional.

Al Dr. Víctor Manuel Reyes Salas, mi más sincero y especial agradecimiento por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis en sus proyectos de investigación y por su valiosa ayuda, asesoría, sugerencias, amistad y tiempo invertido para la realización de este trabajo.

Al, Ing. Gerardo Rodríguez Galindo especial agradecimiento por darme su amistad y tiempo invertido para la realización de este trabajo.

Al M.C Yanis Licet Muñoz González mi más sincero agradecimiento, por su cooperación, asesoría, sugerencias, amistad y tiempo invertido para la realización y terminación de este trabajo.

A todo el personal académico de la División de Agronomía, en especial a los Docentes del Departamento de Horticultura que tuvieron que ver en forma directa con mi formación directa e indirecta en mi formación académica con la enseñanza de sus conocimientos.

DEDICATORIA

A mis Padres:

Sr. José Luis Rodríguez Ibarias +

Sra. Herminia de León Hermitaño

Con todo el cariño y respeto les dedico este trabajo, por darme su apoyo, amor y confianza que me encausaron por el camino de la superación y que con sus sacrificios y desvelos hicieron posible mi profesión.

Gracias mamá por haberme dado tu espacio y tu vida, a ti te debo todo, y creo que no alcanzaría la vida completa para pagarte el tiempo y dedicación que has invertido en mi para ser lo que soy, con el más profundo amor y admiración te dedico este humilde pero significativo tributo.

A ti padre te agradezco por todo lo que me brindaste, con respeto y con el gran amor de hijo te brindo este triunfo donde quiera que estés.

A mis Abuelitos:

Ovidio de León Baneco + Esther Hermitaño Elías +

Máximo Rodríguez Monzón + Juana Ibarias Vidal +

A mis tíos **Rodríguez Ibarias** y **Hermitaño de León** por su valioso apoyo incondicional y confianza que me han dado cada uno de ustedes.

A mis Hermanos:

José Daniel, Juana Inés Rodríguez de León

Por el apoyo incondicional que me han brindado en todo momento, por compartir con ellos todas las tristezas y alegrías de la vida, aun cuando la distancia nos separaba y recuerden siempre que la mejor herencia que nuestros padres nos pueden dar es el estudio, gracias hermanos los quiero mucho.

A mi Esposa e Hijos

A ti **Yuridia Concepción Colomo Flores**, con mucho cariño amor y cariño te dedico este trabajo, que gracias a tu apoyo cariño, amor y consejos. Por compartir la vida conmigo y por el apoyo incondicional que he recibido este triunfo también es tuyo te amo.

José Luis y Emmanuel Rodríguez Colomo a ustedes mis hijos adorados también comparto este triunfo con ustedes y a ustedes les dedico este trabajo soñado, gracias por existir en mi vida que han sido lo mejor que me han pasado en la vida los amo y mis respeto para ustedes mis hermosos niños, los amo

Compañeros y amigos; gracias por su apoyo y amistad que me ofrecieron durante mi estancia en esta universidad.

A mi gran amigo incondicional que siempre estuvo conmigo en las buenas y en las malas que nunca me dejo solo, gracias por sus consejos y su amistad es una gran persona que Dios lo bendiga Siempre a usted y a su hermosa familia; gracias por su amistad **Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho**.

A la familia **Valdez luna** y **Morales Valdez**, también comparto con ustedes este logro en mi vida, gracias por su apoyo, amistad y muestras de cariño hacia mi persona, también gracias por su hospitalidad por el tiempo que estuve realizando este trabajo Dios los bendiga siempre y los guarde de todo corazón.

Al **Ing. Jaime Judiel González**, gracias por su amistad y apoyo incondicional por su colaboración en este trabajo elaborado, por su apoyo en resultados y sugerencias.

Al **Dr. Enrique Navarro**, por su valiosa amistad y apoyo incondicional hacia mi persona, que siempre estuvo conmigo en las buenas y en las malas apoyándome y dando sugerencias, consejos para la elaboración y terminación de este trabajo.

ÍNICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	ii
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
I.- INTRODUCCION	1
Objetivo.....	4
Hipótesis.....	4
II.- REVISION DE LITERATURA	5
Hierro en la planta.....	5
Absorción radicular del hierro en el suelo.....	7
Factores causantes de clorosis férrica.....	8
Deficiencia de hierro en el suelo.....	8
Carbonatos de calcio y clorosis férrica.....	11
Efecto de macro y micronutrientes.....	14
Manganeso.....	15
Fosforo.....	15
Nitrógeno.....	16
Cobre.....	17
Zinc.....	18
Corrección de las deficiencias de hierro.....	18
Antecedentes de quelatos de hierro.....	19
Métodos de prevención y/o corrección de clorosis férrico.....	23
Influencia del factor genético.....	25
Manejos agronómicos.....	25

III.- MATERIALES Y METODOS.....	27
Localización geográfica del área experimental.....	27
Material Vegetativo.....	27
Material Inorgánico y Orgánico.....	27
Descripción de Tratamientos.....	28
IV.- RESULTADOS Y DISCUSION.....	29
V.- CONCLUSION.....	43
VI.- LITERATURA CITADA.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

No. De Tabla	Descripción	Pág.
4.1	Efecto de la aplicación de sulfato y quelato de fierro en la corrección de clorosis en hojas de manzano primera evaluación.....	29
4.2	Efecto de la aplicación de sulfato y quelato de fierro en la corrección de clorosis en hojas de manzano segunda evaluación.....	30
4.3	Efecto de la aplicación de sulfato y quelato de fierro en la corrección de clorosis en hojas de manzano tercera evaluación.....	31
4.4	Efecto de la aplicación de sulfato y quelato de fierro en la corrección de clorosis en hojas de manzano cuarta evaluación.....	32
4.5	Efecto de la aplicación de sulfato y quelato de fierro en la corrección de clorosis en hojas de manzano Quinta evaluación.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

No. De Figura	Descripción	Pág.
4.1	Primera y segunda evaluación de clorosis férrica.....	35
4.2	Primera y segunda evaluación de clorosis férrica.....	36
4.3	Primera y segunda evaluación de clorosis férrica.....	37
4.4	Primera y segunda evaluación de clorosis férrica.....	38
4.5	Tercera, cuarta y quinta evaluación de clorosis férrica	39
4.6	Tercera, cuarta y quinta evaluación de clorosis férrica	40
4.7	Tercera, cuarta y quinta evaluación de clorosis férrica	41
4.8	Tercera, cuarta y quinta evaluación de clorosis férrica	42

Resumen

La clorosis férrica se distribuye ampliamente en los suelos del mundo, especialmente en los de tipo calcáreo. La multiplicidad de factores involucrados en la aparición de la deficiencia de hierro (Fe) ha determinado la inaplicabilidad de una solución global a este desorden.

Si bien los bicarbonatos son la principal causa de clorosis férrica en suelos calcáreos, en los demás tipos de suelos no existe un origen definido, pudiendo ser provocada por malos manejos agronómicos, competencia con otros nutrientes presentes en el suelo, como fósforo (P), cobre (Cu), zinc (Zn), nitrógeno (N), manganeso (Mn), entre otras causas. El presente trabajo busca recopilar la información técnico – científica disponible respecto a las causas de la clorosis férrica en árboles frutales, sus efectos y soluciones propuestas. La solución de la clorosis férrica se ha abordado desde dos ejes, como son la mejora en las técnicas preventivas de diagnóstico y el desarrollo de técnicas correctivos. En la primera instancia, la investigación ha propendido a mejorar el uso de extractantes utilizados en los análisis de suelo. En relación a las técnicas correctivas, se ha descartado el uso de aplicaciones de ácidos mediante el riego en suelos calcáreos, debido a que requiere volúmenes impracticables actualmente. A nivel de suelo, los mejores resultados se han obtenido con el uso de FeSO_4 , que gracias a su mayor estabilidad aumentan la disponibilidad de fierro (Fe) en el suelo. En este sentido, es necesaria mayor investigación en la optimización de las formulaciones, disminución de los costos de fabricación y reducción de su impacto medioambiental. Las aplicaciones al suelo son muy variables en resultados, dadas las distintas condiciones del suelo sin embargo el mejor tratamiento fue sulfato de fierro a una dosis de 10g por árbol.

Palabras claves: Manzano, Fertilizante-Lombricomposta, clorosis.

Summary

Iron chlorosis is widely spread in soils of the world, especially in calcareous soils. The multiple factors involved in the occurrence of iron (Fe) deficiency resulted in the ineffectiveness of a global solution to this disorder. While bicarbonates are the most important cause of iron chlorosis in calcareous soil, in other soil types a defined origin has not been found. It may be caused by agronomic mismanagement, competition with other nutrients in soil such as phosphorus (P), copper (Cu), zinc (Zn), nitrogen (N), manganese (Mn), among other causes. This paper intends to collect technical - scientific information available regarding the causes of iron chlorosis in fruit trees, its effects and solutions proposed. The solution to iron chlorosis has been approached from two perspectives, such as improvements in the techniques of preventive diagnosis and development of remedial techniques. In the first stage, research has tended to improve the use of extractants used in foliar analysis, as well as the use of new plant structures (flowers and shoots). In relation to the remedial techniques, the acid application to calcareous soils via irrigation has been discarded, because it requires very large volumes of acid. In soils, the best results have been obtained with the use of iron chelates, because their greater stability enhances the availability of Fe in soil. In this sense, more investigation is needed to improve formulations, as well as lowering of costs of production and reduction of their environmental impact. Soil applications are highly variable results, given the different soil conditions however the best was treatment iron sulfate at a dose of 10g per tree.

Keywords: Apple, fertilizer-vermicomposting, chlorosis.

I. INTRODUCCIÓN

La deficiencia de hierro presenta una extensa distribución en especies vegetales ubicadas sobre suelos de diferentes características, estimándose que cerca de un 50% de los árboles frutales en las zonas mediterráneas sufre de clorosis férrica (Jaegger *et al.*, 2000).

A nivel de diagnóstico, Faust (1989) ha identificado la deficiencia de hierro como la correspondiente al nutriente de mayor importancia en la expresión de clorosis, por sobre la ausencia de otros micronutrientes (zinc y manganeso).

La principal causa de la clorosis férrica no radica en la ausencia de este micronutriente en el suelo, ya que se considera al hierro (Fe) como el cuarto elemento más abundante en las rocas de la Tierra, con gran capacidad de formar numerosos compuestos estables con S, O y Si (Krauskopf, 1983; Loué 1988; Marschner, 1995). La clorosis férrica se produce por disminuciones en la disponibilidad de hierro activo en la planta, desencadenada por la interacción de factores químicos, físicos y biológicos presentes tanto en el suelo como dentro de la misma especie vegetal (Vose, 1982; Coulombe *et al.*, 1984; Loue, 1988; Marschner, 1995).

A nivel de corrección, se ha investigado una amplia variedad de compuestos férricos y enmiendas acidificadas que han sido propuestos como soluciones a la deficiencia nutricional de Fe, pero que no han logrado representar un manejo efectivo a un costo viable para los productores frutícolas a nivel mundial (Pestana *et al.*, 2003a).

Rodríguez *et al.* (1998) señalan que las acidificaciones de las soluciones fertilizantes aplicadas sobre los suelos mediante el riego, permitirían mejorar la solubilidad de muchos compuestos que contienen hierro (Fe), cinc (Zn), manganeso (Mn), calcio (Ca) y fósforo (P) en suelos calcáreos. Otros autores dudan de la efectividad de éstas en campo (Miyamoto *et al.*, 1975; Imas; 2000), indicando que en suelos con altos niveles de carbonatos se requieren de elevadas cantidades de ácido, volviendo impracticable la medida. Todo esto determina que aún no exista una solución capaz de satisfacer a los productores, debido a la existencia de mucha información cruzada.

El hierro es uno de los nutrientes que más limitan la producción vegetal en medios calizo, la corrección de la deficiencia de hierro supone la aplicación a los cultivos importantes de productos de síntesis, de un alto coste económico y la inclusión en el medio ambiente de compuestos extraños al mismo.

Para Vose (1982) los manzanos serían más tolerantes a la clorosis férrica que las especies de carozos antes mencionadas. Faust (1989), indica que se presenta una disminución del tamaño de los cloroplastos de las hojas de *M. pumila* Mill. Afectado por clorosis férrica, además, estas hojas presentarían estomas poco desarrollados, es decir, sin su estructura característica. Shahabi *et al.* (2005), señalaron a las variedades de manzanos: Red Delicious, Golden Delicious y Golab – e – Kohanz como resistentes a 5 meq/L de bicarbonatos en el agua de riego, al considerar sus efectos sobre el desarrollo de la clorofila. Además, estos mismos autores identificaron que el efecto del contenido de bicarbonato sobre ésta especie no sería inmediato, indicando que las neutralizaciones de bicarbonato serían necesarias a largo plazo.

Álvarez – Fernández *et al.* (2004) evaluaron aplicaciones en el suelo de sulfato ferroso, así como de Quelato de Fe, ya sea solos o acompañados de sulfato ferroso en *P. communis* L., cv. Blanquilla injertada sobre membrillero. En sus resultados, 30 estos autores encontraron que en situaciones de deficiencia de hierro, las aplicaciones en el suelo no ofrecerían una solución efectiva al control total de la clorosis férrica, incluso si se agregan compuestos de Fe (III) – DTPA más surfactantes. Además, los mismos autores encontraron una mayor efectividad al aplicar los tratamientos en el suelo.

Neilsen y Neilsen (2003), indican que si se considera el alto costo de los quelatos de Fe y su efecto variable sobre *M. pumila* Mill. al aplicarlos al suelo, sería más recomendable realizar este tratamiento al suelo con FeSO₄, de forma reiterada durante el año; con la finalidad de obtener resultados más duraderos

Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo corregir la clorosis ferrica en arboles de manzano con aplicación de dos fertilizantes a base de Fe, sulfatado y quelatado.

Hipótesis

Algunos de los tratamientos tendrán un efecto positivo en la corrección de la clorosis ferrica.

II. Revisión de literatura

Hierro en la planta.

El contenido de hierro (Fe) en las plantas varía considerablemente entre ellas, con un rango normal entre 60 – 300 ppm. Sólo bajo situaciones excepcionales de suelos ácidos con pobre drenaje y en continua reducción, como por ejemplo algunos arrozales, es posible encontrar toxicidades de Fe con niveles de 400 – 1000 ppm (Vose, 1982, Loue, 1988; Hagemeyer y Breckle, 1996).

Si se considera las formas iónicas de hierro Fe^{+2} y Fe^{+3} , donde la primera es la forma metabólicamente activa y de mayor solubilidad que el Fe^{+3} (Chen y Barak, 1982; Rowell, 1992; Navarro, 2003; Ruíz, 2006), las mediciones de Fe total no serían capaces de señalar el grado de funcionalidad del nivel de hierro existente en la planta. Por ello, es posible encontrar altas concentraciones de Fe total en hojas de plantas cloróticas, dado un proceso de inactivación del hierro dentro de la misma especie vegetal (Morales *et al.*, 1998; Bavaresco *et al.*, 1999; Römheld, 2000; Tagliavini y Rombolà, 2001; Benítez *et al.*, 2002; Nikolic y Römheld, 2002; Abadía, 2004; Álvarez – Fernández *et al.*, 2004 y 2005).

En suelos calcáreos, Tagliavini y Rombolà (2001) señalan que, por un mecanismo aún desconocido, parte del Fe proveniente de las raíces no es capaz de atravesar la membrana plasmática de las hojas, ubicándose en el apoplasto celular, situación que justificaría la existencia de Fe inactivo (Fe^{+3}) en hojas cloróticas de uva vinífera (*Vitis vinifera* L).

A manera de consenso, varios autores han señalado que la presencia de cantidades significativas de Fe^{+3} en las hojas cloróticas, produciría una situación llamada “paradoja de la clorosis”, la cual sería determinante en la ineficacia de los análisis foliares para la evaluación de la clorosis férrica (Morales *et al.*, 1998; Bavaresco *et al.*, 1999; Römheld, 2000; Tagliavini y Rombolà, 2001; Benítez *et al.*, 2002; Nikolic y Römheld, 2002; Abadía, 2004; Álvarez – Fernández *et al.*, 2004 y 2005). En éste sentido, Nikolic y Römheld (2002) identifican la existencia de esta situación sólo en mediciones realizadas en base a peso seco y cuando existe una fuerte inhibición del crecimiento de las hojas.

Existe controversia respecto a la disminución en el contenido de cloroplastos en hojas deficientes de hierro, no así, es innegable una clara reducción en el contenido de clorofila de las mismas (Römheld, 1982; Vose, 1982; Chen y Barak, 1982; Loue, 1988; Faust, 1989; Marschner, 1995). El rol exacto del Fe en la síntesis de clorofila no está completamente esclarecido. Según Vose (1982), el hierro podría relacionarse a nivel de condensación del ácido succínico y glutámico, así como también, catalizar la síntesis final de clorofila. La importancia de esta relación radica en que de la condensación del ácido succínico y glutámico se forma el ácido γ - aminolevulínico, el cual luego de seguir una complicada ruta metabólica se transforma en protoporfirina IX, para unirse con Mg y formar la clorofila (Vose, 1982).

Mengel y Kirkby (2000) atribuyen esta última situación a la función más conocida del hierro, ser constituyente de grupos prostéticos. Sin embargo, aún no se conoce el punto exacto en que la deficiencia de hierro produce una disminución de la producción de este pigmento.

Absorción radicular del hierro en el suelo

Actualmente, las especies vegetales sólo son capaces de regular su contenido de hierro total a través del consumo. Sin embargo, una parte del hierro total puede inactivarse bajo la forma Fe^{+3} , la cual debe ser reducida a Fe^{+2} para su utilización por la especies vegetales (Marschner, 1995).

En condiciones de suficiencia de hierro, las plantas utilizan un complejo sistema de autorregulación capaz de aumentar o disminuir el consumo de éste y otros micronutrientes en relación a factores como la concentración interna del elemento, tanto en raíces y brotes en crecimiento, la concentración y forma disponible en el medio, y la interacción con otros iones (Marschner, 1995). El hierro inorgánico debe ser preferentemente reducido a Fe^{+2} en la superficie de la raíz para ser absorbido (Chen y Barak, 1982).

Con la finalidad de aumentar la absorción de algunos nutrientes, las plantas pueden generar exudados radiculares. En el caso del hierro, es posible observar la acción del ácido piscídico, fuerte quelato de Fe^{+3} ; así como del ácido cítrico; y de fitosideróforos liberados sólo por especies gramíneas (Marschner, 1995).

Según Marschner (1995), aún no existe claridad de cómo el nivel nutricional del hierro se transforma en una señal capaz de generar los mecanismos de respuesta de la membrana plasmática, así como tampoco es conocida la forma en que la reductasa posee una proteína o se le adjuntaría una para el transporte del hierro reducido (Fe^{+2}) en el citoplasma

Factores causantes de clorosis férrica

En 1944 Lindner y Harley, señalaron cuatro orígenes para la clorosis férrica: deficiencia de hierro en el medio, trastorno en el balance fosfato/hierro (P/Fe), trastorno en el balance manganeso/hierro (Mn/Fe), y clorosis inducida por carbonatos. Desde entonces, la investigación respecto al tema ha descartado e incluido diferentes factores, sin aún poder esclarecer del todo este desorden nutricional.

Deficiencia de hierro en el suelo

La deficiencia de hierro, normalmente, no se produce porque la concentración total de Fe en el suelo sea baja, ya que es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno, silicio y aluminio (Lindsay, 1979), sino porque existen varios factores como pH, potencial redox, tipo mineral al que está asociado el hierro que hacen que la cantidad que permanece en disolución sea muy baja.

Como se ha mencionado, el hierro es el cuarto mineral más abundante en las rocas de la Tierra (Krauskopf, 1983; Loué 1988; Marschner, 1995), por lo que la “ausencia” de este micronutriente se debe principalmente a su baja solubilidad, especialmente en suelos calcáreos (Rowell, 1992; Marschner, 1995; Brennan y Lindsay, 1998).

Como consecuencia de la descomposición de los minerales en el suelo producto de las reacciones de hidrólisis y oxidación con el agua y aire, la mayor parte del hierro liberado por esta descomposición se precipita bajo formas de óxidos e hidróxidos, siendo influenciadas por el pH (Loué, 1988).

El pH es uno de los principales determinantes en la disponibilidad de hierro hacia la planta. Además, el valor del pH posee una gran variabilidad debido a los factores formadores del suelo: material parental, clima, topografía, actividad biológica, manejo, y tiempo (Rowell, 1992).

Si se considera sólo el hierro inorgánico presente en el suelo, es posible encontrar las formas Fe^{+2} como Fe^{+3} , donde la primera es la forma metabólicamente activa y con mayor solubilidad que el Fe^{+3} (Chen y Barak, 1982; Rowell, 1992; Brennan y Lindsay, 1998; Navarro, 2003; Ruíz, 2006); mientras que la segunda es la principal forma inorgánica presente en los suelos normalmente aireados (Vose, 1982; Loue, 1988).

Vose (1982) y Loue (1988) señalan que sobre un pH 4,0 existe una disminución en la actividad del Fe^{+3} en solución, en una magnitud cercana a unas mil veces por cada unidad de aumento en el pH, lo que afecta drásticamente la disponibilidad total del hierro. Por otro lado, disminuciones del orden de 0,5 unidades en el pH son capaces de generar un aumento en la disponibilidad del hierro en el suelo (Razeto *et al.*, 1984).

Las condiciones reductivas u oxidativas del suelo son las causantes de las variaciones en la proporción de las formas Fe^{+2} y Fe^{+3} en solución, de acuerdo a Vose (1982):



Entonces, se podría esperar concentraciones insuficientes de hierro en las soluciones de los suelos agrícolas normales, si aquellas sólo dependieran de la química inorgánica del hierro (Fe^{+2} y Fe^{+3}). Sin embargo, el Fe forma fácilmente complejos orgánicos que pueden elevar su solubilidad en solución, gracias a los agentes quelantes que se producen a partir de la descomposición de hojas en el suelo, de la mineralización del humus y de los exudados tanto radiculares como microbiales, aumentando la disponibilidad de este elemento (Chen y Barak, 1982; Loue, 1988; Rowell, 1992; Tagliavini y Rombolà, 2001; Jin *et al.*, 2006).

Para Ammari (2005), la actividad microbial del suelo juega un rol más importante que las propiedades químicas y físicas de éste en controlar la concentración de Fe soluble en el suelo. Este autor sustenta sus afirmaciones en el alto porcentaje de complejos de Fe encontrados en sus ensayos, los cuales fueron realizados sobre la base de un gran número de suelos (32 tipos) diferentes químicamente, físicamente y biológicamente.

Jin *et al.* (2006) proponen un rol sinérgico entre las raíces y la comunidad microbiana presente en las cercanías de la rizósfera, donde las primeras exudarían compuestos fenólicos selectivos sobre la flora microbiana existente bajo condiciones deficientes de hierro, desencadenando que los microorganismos predominantes liberen sideróforos capaces de incrementar la biodisponibilidad del Fe, y produzcan auxinas que acrecienten la absorción de hierro debida al aumento en la actividad de la reductasa de Fe^{+3} .

Existe una baja proporción de Fe^{+2} respecto del total de hierro soluble en suelos normalmente aireados, ya que éste precipita fácilmente con el

oxígeno existente generando óxido férrico hidratado $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Sólo mientras las condiciones del medio no sean oxidantes y se mantengan ácidas, el estado ferroso (Fe^{+2}) se encontrará mayoritariamente estable bajo la forma iónica o de complejos (Loue, 1988; Brennan y Lindsay, 1998).

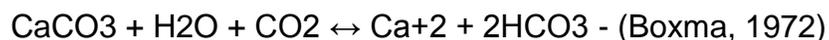
Puesto que el hierro puede presentar dos estados de oxidación, el potencial redox del suelo es otro de los factores que influyen en el contenido de este nutriente en disolución. En suelos bien aireados, condiciones en las que se encuentran normalmente los suelos de cultivo, el Fe no se ve alterado por el potencial redox, siendo las especies hidrolizadas y la fase sólida las que controlan la solubilidad (Lindsay y Schwab, 1982).

Carbonatos de calcio y clorosis férrica

Un suelo calcáreo contiene carbonatos de calcio (CaCO_3), los que a pesar de ser relativamente insolubles, son capaces de controlar el pH del suelo mediante su hidrólisis, alcanzando valores de entre 7,3 a 8,5; situación que puede generar deficiencias nutricionales tal como se expresa en el Anexo 1 (Foth, 1985; Vose, 1988; Loue, 1988; Faust, 1989; Rowell, 1992; Rodríguez *et al.*, 1998; Imas, 2000).

El efecto de los suelos calcáreos sobre el hierro se debe principalmente a la acción de la caliza activa, la cual es la parte de los carbonatos totales que posee un tamaño inferior a 20 micras, determinando así una alta área superficial activa capaz de interactuar fácilmente con los óxidos de hierro en el suelo (Chen y Barak, 1982; Rowell, 1992; Mendoza, 2000).

Los carbonatos de calcio, al igual que los de magnesio, se disuelven fácilmente en agua que contenga anhídrido carbónico, pero no lo hacen en agua pura (Porta *et al.*, 2003), mediante la siguiente reacción:



Se ha determinado que el bicarbonato formado en los suelos calcáreos es el factor más importante del suelo asociado con el desarrollo de clorosis férrica en manzano (*Malus pumila* Mill.), peral (*Pyrus communis* L.) y *V. vinifera* L., (Mengel *et al.*, 1984; Faust 1989; Nikolic y Kastori, 2000).

En suelos calcáreos que no están sujetos a sistemas de riego agronómico, la producción de bicarbonato (HCO_3^-) se debe a la relación existente entre las bases del suelo por el equilibrio en la formación y descomposición de HCO_3^- , por lo que rara vez se alcanzarán niveles suficientemente altos capaces de generar mayores problemas en la absorción de Fe por las plantas (Faust, 1989).

En suelos calcáreos cultivados, la dinámica de formación del bicarbonato es mucho mayor y depende de altas presiones de CO_2 en el suelo así como de la hidrólisis de los carbonatos (Boxma, 1972).

Mengel *et al.* (1994) y Mendoza (2000) plantean que la absorción de bicarbonatos por parte de la planta determina un aumento en el pH de los tejidos, especialmente a nivel de apoplasto, transformando el Fe^{+2} a Fe^{+3} para generar de esta forma la clorosis.

Contrario a Mengel *et al.* (1994) quiénes obtuvieron sus resultados en base al uso de una solución de 10 mm de bicarbonato y colorante

fluorescente para la infiltración de los trozos extirpados de hoja de *H. annuus* L., tanto Nikolic y Römheld (1999 y 2002) como Kasegarten *et al.* (1999) Aportaron la misma concentración de bicarbonatos a las raíces de plantas intactas, sin encontrar incrementos en el pH del apoplasto de las hojas de girasol ni de haba, así como tampoco efectos demostrables sobre el pH del xilema al usar el bicarbonato como factor simple, concluyendo que una alta concentración de bicarbonato en la solución del suelo no disminuye la disponibilidad del Fe en el apoplasto de la hoja.

Navarro (2003), sugiere que los iones bicarbonato ejercen entre otras acciones, disminución en la respiración radicular, al igual que en la absorción y transporte de nutrientes, así como una reducción de la velocidad de acción de diversas reacciones enzimáticas.

La concentración de hierro en las raíces es normalmente superior a la presente en las hojas, lo que refleja la disponibilidad de Fe en el suelo (Mengel *et al.*, 1984). Pero a partir de soluciones alcalinas que contengan Fe^{+2} y HCO_3^- , el hierro se precipita en el suelo como $\text{Fe}(\text{OH})_3$ siempre y cuando no estén presentes otros aniones con los que el Fe^{+2} forme compuestos más insolubles (Krauskopf, 1983). La acumulación de HCO_3^- en la rizósfera y apoplasto de las raíces produce la neutralización de los H^+ generados por la bomba H^+ - ATPasa en las células del plasmalema rizodermal, causando al mismo tiempo la disminución en la reducción de Fe^{+3} (Römheld *et al.*, 1982; Nikolic *et al.*, 1998).

En investigaciones realizadas sobre arábidoopsis (*Arabidopsis thaliana* L.), arveja (*Pisum sativum* L.), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) , se ha encontrado que el bicarbonato

podría inducir la clorosis férrica mediante la inhibición de la expresión de la reductasa férrica, los transportadores de hierro, así como de los genes H^+ - ATPasa en plantas con estrategia I, probablemente debido a la alteración de la expresión de factores de transcripción necesarios para las reacciones de eficiencia de Fe (Lucena *et al.*, 2007).

Por lo tanto, para cubrir la demanda de hierro de los vegetales, es necesario incorporar al suelo compuesto de hierro soluble y estable los valores de pH de los suelos calizos y que sean capaces de ceder su hierro a los vegetales.

Efecto de Macro y Micronutrientes

El comportamiento del hierro y de los diferentes macro – y micronutrientes presentes en el suelo, así como su disponibilidad, está determinada en gran medida por el pH existente en el medio (Anexo 1), desencadenando la consiguiente interacción entre sus formas disponibles (Truog, 1948; Lucas y Davis, 1961).

La expresión de la clorosis férrica puede ser confundida por la aparición simultánea de otras ausencias de micronutrientes, como zinc (Zn) o manganeso (Mn). Sin embargo, al inducir esas insuficiencias en especies vegetales como *M. pumila* Mill., la deficiencia de hierro es predominante, señalando su importancia por sobre las otras (Faust, 1989).

Vose (1982) presenta evidencia de que en suelos neutros o de condiciones medianamente ácidas, la deficiencia de Fe puede ser inducida por altos niveles de cobre, zinc o fósforo. Para Loue (1988), la

absorción de Fe tiende a decrecer según la presencia de iones de cobre, zinc y manganeso en orden decreciente (Cu > Zn > Mn).

Manganeso (Mn).

La clorosis férrica puede ocurrir asociada a una toxicidad de manganeso (Mn) presente a pH ácido en un suelo arenoso. Se sabe que el Mn se encuentra más disponible a un pH 6,0 ó inferior, pero aún no está del todo claro si éste compite con el hierro por los sitios de absorción en las raíces, o si la competencia se produce a nivel de precursores de la clorofila, donde el manganeso desplazaría al hierro desde las enzimas que lo requieren (Vose, 1982; Loue, 1988). Un ejemplo de esta situación corresponde a la clorosis férrica observada en piña (*Ananas sativum* L. Lindl.) emplazada sobre las arenas ácidas de Hawai (Vose, 1982).

Fósforo (P).

Aún no existe claridad respecto a la relación entre el fósforo y el hierro, pues algunos autores (Mengel *et al.*, 1984; Loue, 1988), señalan la correspondencia entre altos contenidos de P en la planta y clorosis férrica, no así con los niveles de P existentes en el suelo, como fue planteado por Lindner y Harley (1944). De esta forma, Loue (1988) propuso que el P no intervendría a nivel de absorción de Fe, sino que disminuiría la movilidad del hierro presente en las especies vegetales.

Mengel *et al.* (1984) descartaron a los fosfatos como agentes causantes de clorosis férrica, tal como lo planteaba Lindner y Harley (1944), al señalar que el P en las hojas no es la causa de clorosis, sino un producto de la misma, debido a que el aumento en la excreción de H⁺ a

nivel radical incrementaría la proporción de la forma H_2PO_4^- , la cual puede ser absorbida a tasas mayores. Mengel *et al.* (1984) respalda sus afirmaciones con ensayos realizados en plantas sobre contenedores que incluían diferentes soluciones de suelo, donde el P alcanzó niveles superiores a los indicados como inductores de clorosis ($\text{P/Fe foliar} > 60$), obteniendo síntomas de deficiencia de Fe en suelos con alto contenido de bicarbonato y mínimo de fosfato, y no al revés.

Para Marschner (1995), los altos niveles de fósforo en las especies vegetales deficientes de hierro se deben a la alteración en sus niveles de crecimiento.

Nitrógeno (N).

En situaciones de alto consumo de nitratos (NO_3^-) por las plantas, se genera un exceso de aniones sobre cationes en las raíces, provocando la necesaria excreción de OH^- a la rizósfera, situación que desencadena la formación de bicarbonato al mezclarse con agua y CO_2 (Haynes y Goh, 1978; Chen y Barak, 1982; Loue, 1988). Además, Mengel *et al.* (1994) y Kosegarten *et al.* (1999 y 2004) relacionaron al nitrato con incrementos en el pH del apoplasto de las raíces, lo que determinaría conjuntamente una disminución en la capacidad reductora de hierro, y por lo tanto del consumo de hierro en el citosol.

Contrario a lo sucedido con excesos de aniones como el NO_3^- , al entregar una fuente nitrogenada en forma de cationes (NH_4^+ , por ejemplo), el balance entre las cargas de los iones en la raíz se alteraría nuevamente, sólo que se produciría una reversión en la mencionada producción de bicarbonatos (Chen y Barak, 1982), así como también una disminución en el pH del apoplasto radicular (Kosegarten *et al.*,

2004). Según Pestana *et al.* (2003a), en el caso de suelos calcáreos, el amonio comúnmente usado sufre una rápida nitrificación, por lo que es necesario agregarle inhibidores de dicho proceso para hacer efectivos los resultados descritos.

Cobre (Cu).

Según Loue (1988), excesos de cobre en el suelo determinan clorosis férrica con una factibilidad de ocurrencia mayor a la del manganeso, situación que ya había sido descrita por Thompson (1965) en suelos de Florida, Estados Unidos. El mismo autor, también señala un posible rol del Cu en el detrimento de la movilidad del Fe en el interior de la planta.

Para Zheng *et al.* (2005), la concentración de hierro en las raíces de plantas Fe eficientes (por ejemplo trébol común, *Trifolium pratense* L.) aumenta con la deficiencia de Cu, la causa no se encontraría en un incremento de la liberación de protones propio de la estrategia I, sino más bien, debido a la inducción de una nueva reductasa, distinta a la producida en deficiencia de Fe. Esta nueva reductasa sería estimulada en todo el sistema radicular y no sólo en los ápices, como es el caso de la reductasa del hierro.

Zinc (Zn).

Las deficiencias de cinc generan concentraciones más elevadas de Fe en las plantas. Por otro lado, dosis elevadas de Zn pueden generar clorosis férrica en algunas especies como el maíz, al afectar su absorción y transporte (Brown y Tiffin, 1962), sin embargo, estos resultados no fueron replicados por los autores en la totalidad de especies investigadas (14 especies vegetales distintas).

Corrección de la deficiencia de hierro

Hagstrom (1984) Clasifico los materiales para la corrección de la deficiencia de hierro en:

- 1) Compuestos inorgánicos de hierro (sulfato ferroso, sulfato férrico, sulfato ferroso amónico fosfato de hierro sintético (vivianita))
- 2) Quelatos sintéticos de hierro (FeEDTA, FeHEEDTA, FeDTPA, Fe (o,o-EDDHA), Fe (o,p-EDDHA), Fe (o,o-EDDHMA), Fe (o,p-EDDHMA), Fe (p,o-EDDHMA), Fe (2,4-EDDCHA), Fe (5,2-EDDCHA, FeEDDHSA)
- 3) Compuestos orgánicos lignosulfatos de hierro, fenoles (Fe), poliflavonoides (Fe))
- 4) Enmiendas acidificantes del suelo
- 5) Subproductos industriales y basuras

Las sales inorgánicas de hierro, cuando se adicionan a suelos calizos, el hierro que contiene precipita en forma de hidróxido, esto mismo ocurre si se emplean con aguas ricas en carbonatos (Abadia et al., 2004).

Su aplicación vía foliar Da mejores resultados, siempre que se apliquen con un tensioactivo (Lucena, 1990; Sanz et al., 1992; Chen 1997, Álvarez Fernández et al., 2004). La materia orgánica en los suelos calizos no tiene mucho efecto en la mejora de la nutrición ferrica ya que en este medio, su velocidad de mineralización es muy rápida, no hemos de olvidar que la capacidad para formar complejos estables y solubles en las condiciones del suelo, que han de ser transportados hasta las raíces vegetales para su descomposición y reducción del hierro por la reductasa radicular (Lucena, 2003). La aplicación de ácidos al suelo para prevenir o corregir la clorosis ferrica, destinados a la disminución del pH con el consiguiente aumento de la solubilidad de Fe del mismo en suelos calizos, es eficaz a muy corto plazo ya que en el poder amortiguador del bicarbonato neutraliza el efecto rápidamente (Lucena, 2003).

Antecedentes de los quelatos de hierro

Un quelato corresponde a un compuesto orgánico combinado con ciertos cationes metálicos, como hierro, manganeso, zinc y cobre, a las cuales priva de algunas de sus características iónicas usuales, como su tendencia a precipitar en forma de hidróxidos insolubles (Buckman y Brady, 1993).

Los quelatos de hierro han sido los compuestos con mejores resultados en el control de clorosis férrica, siendo su uso restringido por el alto costo que involucran. Ortega-Blu y Molina-Roco (2007), señalan que las fuentes queladas de hierro, al igual que las de Zn, producen rendimientos ligeramente más altos en materia seca de ballica perenne (*Lolium perenne* L.), al utilizar dosis 20% más bajas respecto al uso de sulfatos de hierro y Zn. Sin embargo, su mayor eficiencia no es

suficiente para superar su mayor costo, derivando en una menor relación beneficio/costo en comparación con las sales simples de sulfato.

Las formas férricas quelatadas más utilizadas son las de Fe-EDDHA, cuyo nombre comercial puede ser: Sequestrene 138 Fe o polikel Hierro, u otros productos que contengan Fe-EDDHA. Estos productos al ser aplicados al suelo permanecen solubles logrando resultados satisfactorios (Gardiazabal, 2004).

En aplicaciones directas al suelo, es importante pulverizarlo sobre la superficie, seguido de un riego abundante que permita una rápida penetración en profundidad, normalmente en primavera, entre el comienzo de la floración y plena flor (Loué, 1988; Pestana *et al.*, 2003a). Otra forma de aplicación al suelo es mediante fertirriego (Pestana *et al.*, 2003a). Al comparar la efectividad de los quelatos sobre suelos alcalinos, se produce una ineficacia del Fe – EDTA, el cual sobre pH 7,5 pierde toda estabilidad liberando el Fe quelatado al medio. El Fe – EDDHA es mucho más estable a pH alcalino, destacándose el isómero *orto* EDDHA y no el *para*, el cual es de baja estabilidad. Actualmente, varias de las formulaciones comerciales contienen ambas formas isoméricas, debido a los recientes hallazgos de sinergia en ese tipo de mezclas, aunque aún falta bastante por investigar (Chen y Barak, 1982; Mendoza, 2000; Pestana *et al.*, 2003a; García – Marco *et al.*, 2006).

Las dosis recomendadas de quelatos son variables. Comúnmente se recomienda dosis de 30 a 50 g de quelato EDDHA por árbol, equivalentes a 1,8 a 3,0 g de Fe por árbol, considerando un contenido de Fe de 6% (Abadía *et al.*, 2004). En Israel han obtenido una buena

cura de clorosis en suelo calcáreo sobre el duraznero con 100 g por árbol de EDDHA de Fe, pero debe duplicarse como mínimo en suelos más arcillosos, mientras que en Francia, las dosis varían entre 50 a 200 g del producto por árbol (Loué, 1988).

Por otro lado, en suelos con altos contenidos de caliza activa y/o regados con aguas ricas en bicarbonatos, las aplicaciones de hierro quelatado, al suelo o al follaje no dan una solución definitiva al problema, pues son observables aumentos en los niveles de hierro en las hojas, pero éste corresponde a Fe+3 producto de la inactivación del Fe+2 (forma activa) que se puede producir bajo estas condiciones (Mendoza, 2000).

Se han desarrollado varios quelatos nuevos con el objetivo de solucionar las deficiencias de micronutrientes como el Fe, así, Álvarez – Fernández *et al.* (2002a) evaluaron Fe –EDDHA y Fe-EDDCHA en condiciones de laboratorio, los que comparados con Fe –EDDHA y Fe – EDDHMA (quelatos usados comercialmente) mostraron una estabilidad similar entre pH 4,0 y 9,0 en el suelo. Por otro lado, los nuevos quelatos poseían una mayor estabilidad frente a óxidos de hierro (ferrihidrita) y materia orgánica (turba ácida) que Fe – EDDHA y Fe – EDDHMA, siendo una posible recomendación en suelos con 44 características semejantes a las mencionadas. En recientes investigaciones de campo, Álvarez – Fernández *et al.* (2005) encontraron una mayor solubilidad del Fe – EDDHSA en el suelo, presentando una baja retención de éstos en el medio, aunque su dosis, frecuencia, persistencia y efectos en el ambiente faltan aún por investigar.

Para Álvarez – Fernández *et al.* (2005), la efectividad de los quelatos Fe – EDDHA y Fe –EDDHMA en condiciones de campo sobre clorosis férrica en *P. persica* L. Batsch, cv Sundanell y *P. communis* cv. Conference es similar, más aún, si se realiza considerando una igualdad en las dosis, al comparar los ingredientes activos y no las indicaciones de Fe soluble presentes en sus etiquetas comerciales. Otro inconveniente a la utilización de quelatos tiene relación con su aparente agresividad al medio ambiente, debido a la baja biodegradación que presenta en el suelo (Nörtemann, 1999; Álvarez – Fernández *et al.*, 2002b).

Se ha buscado alternativas más eficientes y amigables al medio ambiente, dado que los quelatos sintéticos serían poco biodegradables, dificultando su eliminación de las aguas residuales y ecosistemas. Según Sillanpää (1997), los EDTA y DTPA pueden generar la desorción de metales pesados vinculados a los sedimentos, así como también evitar la sedimentación de metales pesados, aumentando su ciclo en el agua.

Nörtemann (1999) señala que el agente quelante EDTA no es degradado por métodos biológico y fisicoquímicos convencionales usados para el tratamiento de aguas residuales y/o la purificación de agua potable, siendo necesarios tratamientos con cultivos enriquecidos de bacterias especiales. Para solucionar este problema, se han evaluado formulaciones nuevas, como el uso de sideróforos microbianos en este tipo de aplicaciones, pero aún de manera muy incipiente (Fernández *et al.*, 2005).

Métodos de prevención y/o corrección de clorosis férrica

En una revisión realizada sobre este tema, Pestana *et al.* (2003a) señalan la importancia de utilizar análisis de suelo en que se incluye mediciones de la disponibilidad de hierro obtenidas mediante extractantes capaces de quelatar el metal, así como pruebas que determinen el contenido de cal activa en la determinación de clorosis férrica inducida por carbonatos. A nivel de planta, la observación de los síntomas visuales es la forma más rápida y económica de encontrar el problema en las diferentes especies (Malo, 1966; Vose, 1982; Faust, 1989; Luna, 1990; Ruíz, 1993; Amorós, 1995; Barranco *et al.*, 1998; Mengel y Kirkby, 2000; Agustí, 2003; Pestana *et al.*, 2003a; Gardiazabal, 2004; Lahav y Whiley, 2007).

Se han desarrollado otros parámetros biométricos capaces de evaluar la deficiencia de hierro a nivel de laboratorio, como determinar el área foliar, el peso radicular y el peso foliar, sin embargo, todos éstos aún no han sido evaluados completamente en condiciones de campo (Álvarez – Fernández *et al.*, 2005).

Algunos instrumentos han sido fabricados para facilitar el diagnóstico, como por ejemplo el SPAD, el cual es capaz de entregar una medición cuantitativa objetiva de la clorosis foliar asociada a la deficiencia de hierro (Peryea y Kammereck, 1997).

Los análisis químicos de diferentes estructuras vegetales (hojas, flores, brotes y otras) pretenden determinar la concentración de Fe total, Fe extractable, relaciones entre micronutrientes u otros compuestos capaces de predecir o diagnosticar la clorosis férrica.

A nivel foliar, se ha descartado el uso de mediciones de Fe total debido a la comprobada existencia de Fe inactivo en el apoplasto de la hoja de especies vegetales sobre suelos calcáreos (Morales *et al.*, 1998; Bavaresco *et al.*, 1999; Römheld, 2000; Tagliavini y Rombolà, 2001; Benítez *et al.*, 2002; Nikolic y Römheld, 2002; Abadía, 2004; Álvarez – Fernández *et al.*, 2004 y 2005).

Recientemente, Neaman y Aguirre (2007) compararon tres métodos extractivos de hierro para la determinación de la deficiencia de Fe en suelo calcáreo, al evaluar hojas jóvenes (dos meses de edad) de palto cv. Has cultivado en un suelo calcáreo. Estos autores concluyeron que el uso de fenantrolina 1,5% (pH 3) en hojas frescas permite obtener la mejor correlación con el estatus nutricional de hierro en palto, respecto de la utilización de HCl 1N en hojas frescas y secas de esta misma especie. Estas conclusiones se deberían a que la fenantrolina formaría complejos más estables con Fe+2 que con el Fe+3, por lo que se podría considerar a este compuesto como específico para el Fe+2.

Respecto a otras estructuras vegetales, los análisis de flores se encuentran en un fuerte proceso de investigación, ya que éstos permitirían obtener información anticipada respecto del estado nutricional de hierro en las diferentes especies vegetales, tal como se ha señalado para cítricos y durazneros (Belkhodja *et al.*, 1998; Toselli *et al.*, 2000; Martínez *et al.*, 2003; Pestana *et al.*, 2003a y 2004).

Según Belkhodja *et al.* (1998) y Pestana *et al.* (2003a), el patrón de acumulación de Fe en los árboles frutales es estacional, siendo mayor el contenido de Fe en flores que en hojas de las especies caducas, dada la fenología de producción de dichos órganos. Para las especies persistentes, como es el caso de las flores de naranjo (*Citrus sinensis* L.

Osb. Cv. Valencia late sobre Citrange Troyer), éstas deben competir con el crecimiento vegetativo por el uso de los nutrientes (Pestana *et al.*, 2003a, 2004).

Influencia del factor genético.

Según Vose (1982) y Marschner (1995), el alelo para la eficiencia en el uso del Fe sería dominante, por lo que el uso de algunas técnicas de mutación para incrementar el rango de tolerancia presentaría el inconveniente de generar individuos con características recesivas respecto a su alelo original, reduciendo las posibilidades de mejorar las especies por ésta vía.

Otro inconveniente radicaría en el bajo atractivo agronómico de las especies desarrolladas, principalmente portainjertos (Tagliavini y Rombolà, 2001) y del largo plazo que involucraría su obtención (Pestana *et al.*, 2003a).

Manejos agronómicos.

Algunos autores como Loue (1988), Tagliavini *et al.* (2000) y Pestana *et al.* (2003a) se han encargado de señalar los beneficios de las praderas y abonos verdes sobre casos de clorosis férrica moderada, producto de las mejoras en la infiltración del suelo y la liberación de sideróforos y fitosideróforos; concluyendo la importancia de reducir la labranza.

Siguiendo el mismo concepto, en ensayos realizados en medio hidropónico con portainjertos de cítricos sensibles a la deficiencia de hierro (*Poncirus trifoliata*, *Citrus paradisi*, citrumelo “swingle”) así como con algunos de tolerancia moderada a esta deficiencia (*Citrus aurantium*

L.), se ha observado el efecto beneficioso del uso de gramíneas asociadas (*Z. mays* L., festuca - *Festuca rubra* L.- y pasto mallín – *Poa pratensis* L.-) en condiciones Fe deficientes, principalmente en las especies más sensibles. Esta situación se produce debido a que las especies gramíneas liberan fitosideróforos capaces de incrementar la disponibilidad de hierro en suelos calcáreos, situación aprovechada por las especies cítricas asociadas (Cesco *et al.*, 2006).

Cesco *et al.* (2002) estudiaron plantas de *C. sativus* L. cv. Serpente cinese con estrategia I y de cebada (*Hordeum vulgare* L., cv. Europa) de estrategia II, para evaluar el consumo de Fe desde complejos realizados con la fracción húmica soluble al agua (WEHS, “watersoluble humic fraction”) extraída desde turba. Los resultados de la investigación indicaron que las plantas de pepino (estrategia I) utilizan los complejos de Fe+3 – WEHS, presumiblemente gracias a la reductasa de la membrana plasmática, mientras que las plantas de cebada (estrategia II) utilizan un mecanismo indirecto que involucraría un ligando entre la WEHS y fitosideróforos (Cesco *et al.*, 2000 y 2002).

Ammari y Mengel (2006) comprueban la importancia de la materia orgánica en su relación con la disponibilidad del hierro presente el suelo. Estos autores evaluaron 32 soluciones de suelo diferentes en textura y pH, mezcladas en razón de 1:1 con arena de cuarzo (humedad 80%) e incubados durante tres días. Los resultados obtenidos indicaron que entre un 50 a un 90% del Fe encontrado estaba formando complejos con moléculas orgánicas (por ejemplo, sideróforos), donde además, el porcentaje de complejos orgánicos de Fe tendría una alta correlación con el pH ($r = 0,93$).

III. Materiales y Métodos

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el huerto que se encuentra dentro de las instalaciones del Departamento de Horticultura, "U.A.A.A.N" que se ubica al norte de la ciudad de Saltillo, Coahuila, en las coordenadas 25°21'21.26" de longitud Norte y 101°02'06.10" latitud Oeste del meridiano de Greenwich y una latitud 1764 m.s.n.m.



Material vegetativo

Arboles de manzano de 3 años de edad, porta injerto M26 con variedad agua nueva II.

Material inorgánico y orgánico

- Fertilizante FeSO_4
- Quelato de Fe
- Lombricomposta

Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Descripción del tratamiento	Gramos
T ₁	FeSO ₄	10
T ₂	FeSO ₄ + Lombricomposta 1lt	10
T ₃	FeSO ₄	15
T ₄	FeSO ₄ + Lombricomposta 1lt	15
T ₅	FeSO ₄	20
T ₆	FeSO ₄ + Lombricomposta 1lt	20
T ₇	Quelato de Fe	10
T ₈	Quelato de Fe + Lombricomposta 1lt	10
T ₉	Quelato de Fe	15
T ₁₀	Quelato de Fe + Lombricomposta 1lt	15
T ₁₁	Quelato de Fe	20
T ₁₂	Quelato de Fe + Lombricomposta 1lt	20

Los tratamientos se aplicaron el 12 de Agosto, una vez realizada la aplicación de los tratamientos se contabilizaron las hojas cloróticas en cada uno de los arboles donde se aplicó el tratamiento. Un día a la sema se dio el seguimiento a los tratamientos contabilizando el número de hojas que presentaban clorosis se realizaron cinco evaluaciones hasta el mes de septiembre.

IV. Resultados y Discusión

De acuerdo al análisis se observó que antes de la aplicación de los tratamientos los arboles promediaban 24 hojas con una marcada clorosis.

Primera Evaluación

Tabla 4.1.- efecto de la aplicación de sulfato y quelato de fierro en la corrección de clorosis en hojas de manzano primera evaluación

Tratamientos	Antes de la aplicación	No. Hojas cloróticas	No. Hojas mejoradas	Porciento de hojas mejoradas
1	15	8	7	46%
2	30	28	2	7%
3	35	24	11	31%
4	32	19	13	40%
5	27	21	6	22%
6	20	17	3	15%
7	27	16	11	40%
8	10	9	1	10%
9	20	20	0	0%
10	12	8	4	33%
11	20	12	8	40%
12	40	35	5	12%

Después de aplicar los tratamientos se realizó la primera evaluación a los 24 días observándose que el mejor tratamiento fue el T₁ (FeSO₄ a 10 gr/árbol) corrigiendo la clorosis ferrica en 20hojas. El árbol ante la aplicación de los tratamientos presentaba 20 hojas con clorosis ferrica

lo que representa que dicho tratamiento tuvo un efecto del 46%.(Tabla 1)

También se observó que el tratamiento T₇ (Quelato de Fe a 10 gr/árbol) corrigió la clorosis ferrica solo en un 40% y el tratamiento T₂ (FeSO₄ 10 gr/árbol + Lombricomposta) solo presento un 7% de eficiencia. %.
(Tabla 1)

Segunda Evaluación

Tabla 4.2.- efecto de la aplicación de sulfato y quelato de hierro en la corrección de clorosis en hojas de manzano segunda evaluación

Tratamientos	Antes de la aplicación	No. Hojas cloróticas	No. Hojas mejoradas	Porcentaje de hojas mejoradas
1	15	8	0	0%
2	30	10	18	64%
3	35	22	2	8%
4	32	9	10	5%
5	27	19	2	9%
6	20	8	9	52%
7	27	11	5	31%
8	10	5	4	44%
9	20	7	13	65%
10	12	0	8	100%
11	20	8	4	33%
12	40	35	0	0%

La segunda evaluación se realizó a los 5 días después de la primera evaluación observándose que el mejor tratamiento fue el T₁₀ (Quelato de Fe a 15 gr/árbol + Lombricomposta) corrigiendo la clorosis ferrica en

8 hojas. El árbol ante la aplicación de los tratamientos presentaba 8 hojas con clorosis ferrica lo que representa que dicho tratamiento tuvo un efecto del 100%.(Tabla 2)

También se observó que el tratamiento T₉ (Quelato de Fe a 15 gr/árbol) corrigió la clorosis ferrica solo en un 65% y el tratamiento T₄ (FeSO₄ 15 gr/árbol) solo presento un 5% de eficiencia.(Tabla 2)

Tercera Evaluación

Tabla 4.3.- efecto de la aplicación de sulfato y quelato de hierro en la corrección de clorosis en hojas de manzano tercera evaluación

Tratamientos	Antes de la aplicación	No. Hojas cloróticas	No. Hojas mejoradas	Porciento de hojas mejoradas
1	15	4	4	50%
2	30	10	0	0%
3	35	22	0	0%
4	32	4	5	55%
5	27	14	5	26%
6	20	0	8	100%
7	27	4	7	63%
8	10	5	0	0%
9	20	7	0	0%
10	12	0	0	0%
11	20	0	8	100%
12	40	19	0	0%

La tercera evaluación se realizó a los 5 días de la segunda evaluación observándose que el mejor tratamiento fue el T₆ (FeSO₄ a 20 gr/árbol + Lombricomposta) corrigiendo la clorosis ferrica en 8 hojas. El árbol ante

la aplicación de los tratamientos presentaba 8 hojas con clorosis ferrica lo que representa que dicho tratamiento tuvo un efecto del 100%.(Tabla 3)

También se observó que el tratamiento T₁₁ (Quelato de Fe a 20 gr/árbol) corrigió la clorosis ferrica solo en un 100% y el tratamiento T₅ (FeSO₄ a 20 gr/árbol) solo presento un 26% de eficiencia.(Tabla 3)

Cuarta Evaluación

Tabla 4.4.- efecto de la aplicación de sulfato y quelato de hierro en la corrección de clorosis en hojas de manzano cuarta evaluación

Tratamientos	Antes de la aplicación	No. Hojas cloróticas	No. Hojas mejoradas	Porcentaje de hojas mejoradas
1	15	0	4	100%
2	30	0	0	0%
3	35	17	5	22%
4	32	4	0	0%
5	27	11	3	21%
6	20	0	0	0%
7	27	4	0	0%
8	10	5	0	0%
9	20	7	0	0%
10	12	0	0	0%
11	20	0	0	0%
12	40	19	0	0%

La cuarta evaluación se realizó a los 5 días de la tercera evaluación observándose que el mejor tratamiento fue el T₁ (FeSO₄ a 10 gr/árbol) corrigiendo la clorosis ferrica en 4 hojas. El árbol ante la aplicación de

los tratamientos presentaba 4 hojas con clorosis ferrica lo que representa que dicho tratamiento tuvo un efecto del 100%.(Tabla 4)

También se observó que el tratamiento T₃ (FeSO₄ a 15 gr/árbol) corrigió la clorosis ferrica solo en un 22% y el tratamiento T₅ (FeSO₄ a 20 gr/árbol) solo presento un 21% de eficiencia.(Tabla 4)

Quinta Evaluación

Tabla 4.5.- efecto de la aplicación de sulfato y quelato de fierro en la corrección de clorosis en hojas de manzano Quinta evaluación

Tratamientos	Antes de la aplicación	No. Hojas cloróticas	No. Hojas mejoradas	Porciento de hojas mejoradas
1	15	0	0	0%
2	30	0	0	0%
3	35	17	0	0%
4	32	4	0	0%
5	27	9	2	18%
6	20	0	0	0%
7	27	4	0	0%
8	10	5	0	0%
9	20	5	2	28%
10	12	0	0	0%
11	20	0	0	0%
12	40	19	0	0%

La Quinta evaluación se realizó a los 5 días de la Cuarta evaluación observándose que el mejor tratamiento fue el T₉ (Quelato de Fe a 15 gr/árbol) corrigiendo la clorosis ferrica en 5 hojas. El árbol ante la

aplicación de los tratamientos presentaba 5 hojas con clorosis ferrica lo que representa que dicho tratamiento tuvo un efecto del 28%.(Tabla 5)

Al hacer comparación de los productos utilizados, se observó que el tratamiento T_1 $FeSO_4$ a 10 gr/árbol. Es el de mayor respuesta debido probablemente a que se queda disuelta en la solución del suelo, por lo tanto tienden hacer absorbidos con mayor facilidad por las plantas.

Es de destacar que la concentración de los elementos nutritivos en las hojas es fácil de detectar solo con la visualización de las hojas de manzano sobre todo con el elemento fierro, esto es muy similar a la encontrada en la del durazno (Sanz y Montañés, 1995a, Sanz y Montañés, 1995b; Sanz et al., 1997d) y a la del cerezo (comunicación personal del Dr. Montañés, L.) y naranjo (comunicación personal del Dr. Abadía, J.). Esto abre nuevas posibilidades de trabajo en el campo del diagnóstico nutricional, pues podría permitir encontrar un sistema de diagnóstico muy generalizado y precoz para frutales.

En nuestras condiciones de trabajo ocurre que cuando en el manzano desarrollan clorosis férrica, hasta grados de hacer visible su carencia de Fe, lo harán el resto de su vida, siendo necesarias correcciones permanentes de la misma. La visualización en las hojas en estos casos nos permite prever el año de aparición y posteriormente su grado de incidencia, permitiéndonos ajustar las dosis de correcciones tempranas más eficaces (Sanz et al., 1997a; Sanz et al., 1997d).

Tratamiento	Aplicación 12/Agost/14	# de hojas con clorosis	1er Evaluación 05/Sep/14	# de hojas con clorosis	2da Evaluación 10/Sep/14	# de hojas con clorosis
T1 FeSO ₄ 10g		15		8		8
T2 FeSO ₄ +lombri-composta 10g		30		28		10
T3 FeSO ₄ 15g		35		24		22
T4 FeSO ₄ +lombri-composta 15g		32		19		9

Figura 4.1.- Primera y segunda evaluación de clorosis

T5 FeSO ₄ 20g		27		21		19
T6 FeSO ₄ +lombri-composta 20g		20		17		8
T7 Quelato de Fe 10g		27		16		11

Figura 4.2.- Primera y segunda evaluación de clorosis férrica

T8 Quelato de Fe+lombri-composta 10g		10		5		5
T9 Quelato de Fe 15g		20		20		7
T10 Quelato de Fe+lombri-composta 15g		12		8		0

Figura 4.3.- Primera y segunda evaluación de clorosis férrica

T11 Quelato de Fe 20g		20		8		8
T12 Quelato de Fe+lombri-composta 20g		40		35		35

Figura 4.4.- Primera y segunda evaluación de clorosis férrica

Tratamiento	3ra Evaluación 15/09/14	# de hojas con clorosis	4ta Evaluación 20/Sep/14	# de hojas con clorosis	5ta Evaluación 25/Sep/14	# de hojas con clorosis
T1 FeSO ₄ 10g		4		0		0
T2 FeSO ₄ +lombri- composta 10g		10		0		0
T3 FeSO ₄ 15g		22		17		17

Figura 4.5.- Tercera, cuarta y quinta evaluación de clorosis férrica

T4 FeSO ₄ +lombri-composta 15g		4		4		4
T5 FeSO ₄ 20g		14		11		9
T6 FeSO ₄ +lombri-composta 20g		0		0		0

Figura 4.6.- Tercera, cuarta y quinta evaluación de clorosis férrica

T7 Quelato de Fe 10g		4		4		4
T8 Quelato de Fe+lombri-composta 10g		5		5		5
T9 Quelato de Fe 15g		7		7		5

Figura 4.7.- Tercera, cuarta y quinta evaluación de clorosis férrica

T ₁₀ Quelato de Fe+lombri-composta 15g		0		0		0
T ₁₁ Quelato de Fe 20g		0		0		0
T ₁₂ Quelato de Fe+lombri-composta 20g		19		19		19

Figura 4.8.- Tercera, cuarta y quinta evaluación de clorosis férrica

V. Conclusión

De acuerdo a los tratamientos y a las cinco evaluaciones realizadas se pudo deducir que al observar cada uno de las evaluaciones, el tratamiento T₁ Sulfato de Fe (FeSO₄) a 10 gr/árbol tuvo el mejor rendimiento de acuerdo a los demás, dado a que a la cuarta evaluación el tratamiento T₁ Sulfato de Fe (FeSO₄) a 10 gr/árbol ayudo a la disminución de clorosis férrica con un 100% de mejora que el resto de ellos en un periodo de 7 semanas.

VI. Literatura Citada

- Abadía. 2004. Technologies for the diagnosis and remediation of Fe deficiency. *Soil Science and Plant Nutrition* 50 (7): 965 – 971.
- Álvarez – Fernández, A., M. Sierra, and J. Lucena. 2002a. Reactivity of synthetic Fe chelates with soils and soil components. *Plant and Soil* 241: 129 – 137.
- Álvarez – Fernández, A., P. Paniagua, J. Abadía, and A. Abadía. 2003. Effects of Fe deficiency chlorosis on yield and fruit quality in peach (*Prunus persica* L. Batsch) *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 5738 – 5744.
- Álvarez – Fernández, A., S. García – Marco, and J. Lucena. 2005. Evaluation of synthetic iron(III) – chelates (EDDHA/Fe⁺³, EDDHMA/Fe⁺³) and the novel EDDHSA/Fe⁺³) to correct iron chlorosis. *European Journal of Agronomy* 22: 119 – 130.
- Álvarez – Fernández, A., P. García – Lavaña, C. Fidalgo, J. Abadía, and A. badía. 2004. Foliar fertilization to control iron chlorosis in pear (*Pyrus communis* L.) trees. *Plant and Soil* 263: 5 – 15.
- Álvarez – Fernández, A., S. García – Marco, and J. Lucena. 2005. Evaluation of synthetic iron(III) – chelates (EDDHA/Fe⁺³, EDDHMA/Fe⁺³) and the novel EDDHSA/Fe⁺³) to correct iron chlorosis. *European Journal of Agronomy* 22: 119 – 130.

- Ammari, T. 2005. Total soluble iron in the soil solution of physically, chemically and biologically different soils. 120 p. Ph.D. thesis, Justus Liebig University, Agricultural and Nutritional Sciences, Home Economics and Environmental Management, Giessen, Germany
- Ammari, T. and K. Mengel. 2006. Total Fe soluble in soil solutions of chemically different soils. *Geoderma* 136 (3 – 4): 876 – 885.
- Amorós, M. 1995. Producción de agrios. 286 p. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid, España.
- Agustí, M. 2003. Citricultura. 422 p. 2da Ed. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid, España.
- Agustí, M. 2004. Fruticultura. 493 p. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid, España.
- Bavaresco, L., E. Giachino, and R. Colla. 1999. Iron chlorosis paradox in grapevine. *Journal of Plant Nutrition* 22 (10): 1589 – 1597.
- Benítez, M., V. Pedrajas, M. del Campillo, and J. Torrent. 2002. Iron chlorosis in olive in relation to soil properties. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62: 47 – 52.
- Belkhodja, R., F. Morales, M. Sanz, A. Abadía, and J. Abadía. 1998. Iron deficiency in peach trees: effects on leaf chlorophyll and nutrient concentrations in flowers and leaves. *Plant and Soil* 203: 257 – 268.

- Boxma, R. 1972. Bicarbonate as the most important soil factor in the lime induced chlorosis in the Netherlands. *Plant and Soil* 37, 233 – 243.
- Brown, J. and L. Tiffin. 1962. Zinc deficiency and iron chlorosis dependent on the plant species and nutrient – element balance in Tulare clay. *Agronomy Journal* 54: 356 – 358.
- Buckman, H. and N. Brady. 1993. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. 590 p. UTEHA, México D.F., México.
- Brennan, E. and W. Lindsay. 1998. Reduction and oxidation effect on the solubility and transformation of iron oxides. *Soil Science Society of America Journal* 62: 930 – 937.
- Chen, Y., and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Advances in Agronomy*. 35: 217 – 240.
- Cesco, S., V. Römheld, Z. Varanini. and R. Pinton. 2000. Solubilization of iron by water – extractable humic substances. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 163 (3): 285 – 290.
- Cesco, S., M. Nikolic, V. Römheld, Z. Varanini, and R. Pinton. 2002. Uptake of Fe from soluble Fe – humate complexes by cucumber and barley plants. *Plant and Soil*. 241(1): 121 – 128.
- Cesco, S., A. Römola, M. Tagliavini, Z. Varanini, and R. Pinton. 2006. Phytosiderophores released by graminaceous species promote Fe uptake in citrus. *Plant and Soil*. 287 (1 – 2): 223 – 233.

- Coulombe, B., R. Chaney, and W. Wiebold. 1984. Bicarbonate directly induces iron chlorosis in susceptible soybean cultivars. *Soil Science Society of America Journal*. 48: 1297 – 1301.
- Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. 338 p. Wiley – Interscience Publication, New York, USA.
- Foth, H. 1997. *Fundamentos de la ciencia del suelo*. 433 p. Séptima edición. Compañía Editorial Continental, México D.F., México.
- Gardiazabal, F. 2004. Clima suelo y agua fertilización y riego. p 1-25. In Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda.. 2º Seminario Internacional de paltos, Viña del Mar, 29, 30 y 1 de octubre de 2004. Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda, Viña del Mar, Chile.
- García – Marco, S., N. Martínez, F. Yunta, L. Hernández – Apaolaza, and J. Lucena. 2006. Effectiveness of ethylenediamine – *N(o* – hydroxyphenylacetic) – *N'(p* – hdroxyphenylacetic) acid (*o,p* – EDDHA) to supply iron to plants. *Plant and Soil* 279: 31 – 40.
- Hagemeyer, J. and S. Breckle. 1996. Growth under trace elements stress. p 415 – 433. In Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafkafi (eds). *Plant roots, the hidden half*. Marcel Dekker. Nueva York, Estados Unidos.
- Haynes, R. and K. Goh. 1978. Ammonium and nitrate nutrition of plants. *Biological Reviews* 53: 465 – 510.

- Imas, P. 2000. Integrated nutrient management for sustaining crop yields in calcareous soils. In GAU – PRII – IPI National Symposium on: Balanced nutrition of groundnut and other field crops grown in calcareous soils of India. Junagadh, Gujarat, India. 19 – 22 september 2000. International Potash Institute. Available at <http://www.ipipotash.org/presentn/inmfscy.html> . Accessed june 12, 2007.
- Jaegger, B., H. Goldbach, and K. Sommers. 2000. Release from lime induced iron chlorosis by CULTAN in fruit trees and its characterisation by analysis. *Acta Horticulturae* 531: 107 – 113.
- Jin, C., Y. He, C. Tang, P. Wu, and S. Zheng. 2006. Mechanisms of microbially enhanced Fe acquisition in red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant, Cell and Environment* 29: 888 – 897.
- Kosegarten, H., B. Hoffmann, and K. Mengel. 1999. Apoplastic pH and Fe⁺³ reduction in intact sunflower leaves. *Plant Physiology*. 121: 1069 – 1079.
- Kosegarten, H., B. Hoffman, E. Rroco, F. Grolig, K. Glüsenkamp, and K. Mengel. 2004. Apoplastic pH and Fe⁺³ reduction in young sunflower (*Helianthus annuus* L.) roots. *Physiologia Plantarum* 122 (1): 95 – 106.
- Krauskopf, K. 1983. Geoquímica de los micronutrientes. p. 7 – 43. In: J. Mortvedt, P. Giordano, and W. Lindsay (eds) *Micronutrientes en Agricultura*. Editorial A.G.P, México D.F., México.

- Lindner, R., and C. Harley. 1944. Nutrient interrelations in lime – induced chlorosis. *American Society of Plant Biology*, 19: 420 – 439
- Lindsay, W. 1979. *Chemical equilibria in soils*. 449 p. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Lindsay, W. and W. Norwell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society American Journal* 42: 421 – 428.
- Loue, A. 1988. *Microelementos en agricultura*. 354 p. Mundiprensa, Madrid, España.
- Luna, F. 1990. *Nogal: producción de fruto y madera*. 155p. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, España.
- Martinez, H., R. Souza, J. Abadía, V. Alvaréz, and M. Sanz. 2003. Coffee – tree floral analysis as a mean of nutritional diagnosis. *Journal of Plant Nutrition* 26 (7): 1467 – 1482.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 888 p. 2da ed. Academic Press Limited, Londres, UK.
- Mendoza, H. 2000. Alcalinidad y salinidad: diagnóstico, efecto sobre la producción y soluciones. 17 p. In *Bioamerica (ed.) 1° Simposium Internacional Fertirrigación y control en frutales y viñas*, Santiago, agosto 2000. Bioamerica, Santiago, Chile.

- Mengel, K., M. Breiningen, and W. Bübl. 1984. Bicarbonate, the most important factor inducing iron chlorosis in vine grapes on calcareous soils. *Plant and Soil* 81: 333 – 344.
- Mengel, K., R. Planker, and B. Hoffmann. 1994. Relationship between leaf apoplast pH and iron chlorosis of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Nutrition*. 17(6): 1053 – 1065.
- Mengel, K., and E. Kirkby. 2000. *Principios de nutrición vegetal*. 692 p. 4^a ed. International Potash Institute, Basel, Switzerland.
- Miyamoto, S., J. Ryan, and L. Stroehlein. 1975. Potentially beneficial uses of sulfuric acid in southwestern agriculture. *J. Environ. Quality* 4: 431-437.
- Morales, F., R. Grasa, A. Abadía, and J. Abadía. 1998. Iron chlorosis paradox in fruit trees. *Journal of Plant Nutrition* 21 (4): 815 – 825.
- Navarro, G. 2003. *Química Agrícola*. 487 p. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid, España.
- Neilsen, G., and D. Neilsen. 2003. Nutritional requirements of apple. p. 267 – 302, 7^a ed. In. D. Ferree, and I. Warrington (eds). *Apples: botany, production and uses..* CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Nikolic, M., and R. Kastori. 2000. Effect of bicarbonate and Fe supply on FE nutrition of grapevine. *Journal of Plant Nutrition* 23 (11 – 12): 1619 – 1627.

- Nörtemann, B. 1999. Biodegradation of EDTA. *Applied Microbiology Biotechnology* 51: 751-759.
- Ortega – Blu, R. y M. Molina – Roco. 2007. Comparación entre sulfatos y compuestos quelados como fuentes de zinc y hierro en suelos calcáreos. *Agrociencia* 41: 491-502.
- Pestana, M., P. Correia, A. Varennes, J. Abadía, and E. Araújo. 2001. Effectiveness of different foliar iron applications to control iron chlorosis in orange trees grown on a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition* 24 (4 – 5): 613 -622.
- Pestana, M., A. de Varennes, and E. Araújo. 2003a. Diagnosis and correction of iron chlorosis in fruit trees: a review. *Food, Agriculture & Environment* 1(1): 46 – 51.
- Pestana, M., A. Varennes, J. Abadía, y E. de Araújo. 2003b. Evaluación de la tolerancia a la clorosis férrica de portainjertos de cítricos en solución nutritiva. *Todo CITRUS* 22: 5 – 9.
- Pestana, M., A. de Varennes, M. Goss, J. Abadía, and E. Araújo. 2004. Floral analysis as a tool to diagnose iron chlorosis in orange trees. *Plant and Soil* 259: 287 – 295.
- Palacios, J. 2003. Clorosis férrica y su relación con el nivel de clorofila y hierro en diferentes órganos en palto (*Persea americana* Mill.). 22p. Tesis Ing. Agr. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

- Rodríguez, V., M. Beltrán, J. Lerma, y M. Licón. 1998. Aplicación de ácido sulfúrico en el riego corrige la clorosis férrica de los cultivos en suelos calcáreos. *Terra* 16 (2): 149 – 161.
- Römheld, V., H. Marschner, and D. Kramer. 1982. Responses to Fe deficiency in roots of “Fe – efficient” plant species. *Journal of Plant Nutrition* 5 (4 – 7): 489 – 498.
- Rowell, D. 1992. Acidez y alcalinidad del suelo. p 885 – 940. In: E. Russell, y A. Wild (eds). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Mundi – Prensa, Madrid, España.
- Römheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grapevine. *Journal of Plant Nutrition* 23 (11 – 12): 1629 – 1643.
- Sanz M., Montañés F., 1995a. Floral analysis: A novel approach for the prognosis of iron deficiency in pear (*Pyrus communis*, F.) and peach (*Prunus pérsica*, F. Batsch). J. Abadía (ed.). In *Iron nutrition in soil and plants: 371-374*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Sanz M., Montañés F., 1995b. Flower analysis as a new approach to the nutritional status of the peach tree. *J. Plant. Nutr.* 18: 1667-1675.
- Sanz M., Pascual J., Machín J., 1997a. Prognosis and correction of iron chlorosis in peach trees. The influence on fruit quality. *J. Plant Nutr.* 20(11): 1567-1572.

- Shahabi, A., M. Malakouti, and E. Fallahi. 2005. Effects of bicarbonate content of irrigation water on nutritional disorders of some apple varieties. *Journal of Plant Nutrition* 28 (9): 1663 – 1678.
- Sillanpää, M. 1997. Environmental fate of EDTA and DTPA. *Reviews of Environmental Contamination & Toxicology* 152: 85 – 111.
- Tagliavini, M., J. Abadía, A. Rombolà, A. Abadía, C. Tsipouridis, and B. Marangoni. 2000. Agronomic means for the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees. *Journal of Plant Nutrition* 23 (11 – 12): 2007 – 2022.
- Tagliavini, M., and A. Rombolà. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *European Journal of Agronomy* 15 (2): 71 – 92.
- Toselli, M., B. Marangoni, and M. Tagliavini. 2000. Iron content in vegetative and reproductive organs of nectarine trees in calcareous soils during the development of chlorosis. *European Journal of Agronomy* 13 (4): 279 – 286.
- Truog, E. 1948. Lime in relation to availability of plant nutrients. *Soil Science* 65: 1 – 7.
- Thompson, L. 1965. *El suelo y su fertilidad*. 412 p. Ediciones Reverté, Zaragoza, España.
- Vose, P. 1982. Iron nutrition in plants: A world overview. *Journal of Plant Nutrition*, 5 (4 – 7): 233 – 249.

Zheng, S., Y. He, Y. Arakawa, and Y. Masaoka, C. Tang. 2005. A copper – deficiency – induced root reductase is different from the iron – deficiency – induced one in red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant and Soil* 273: 69 – 76.