

CLOROSIS FÉRRICA EN CÍTRICOS Y FERTILIZACIÓN FOLIAR

Iron Chlorosis in Citrus Trees and Leaf Fertilization

Patricio Rivera-Ortíz^{1‡}, Blanca I. Castro-Meza¹ y Francisco R. de la Garza-Requena¹

RESUMEN

El rendimiento de árboles de cítricos establecidos en suelos calcáreos es generalmente bajo. Este hecho se relaciona con una insuficiente disponibilidad de hierro en el suelo, la cual conduce a un bajo contenido del elemento en la planta y, en casos severos, a un amarillamiento de las hojas llamado clorosis férrica. Con el fin de corregir la deficiencia de hierro, se evaluó la respuesta de árboles cloróticos de naranjo Valencia (*Citrus sinensis*) y de limón Italiano (*Citrus lemon*) a la aplicación foliar de compuestos férricos en solución. La aspersión individual de sulfato ferroso 0.25%, quelato FeEDTA 0.25% y citrato férrico 0.25% produjo un ligero reverdecimiento de las hojas y un aumento en la concentración foliar de hierro, pero no corrigió la clorosis. Cuando el sulfato ferroso se asperjó mezclado con un aceite dispersante, llamado citrolina emulsionada (0.5%), se incrementó significativamente el reverdecimiento de las hojas y la concentración foliar de hierro en los árboles de naranjo. Lo mismo ocurrió cuando el fertilizante ferroso se suministró mezclado con citrato férrico a las plantas de limón. Esto significa que la citrolina emulsionada y el ión citrato mejoraron la absorción foliar del hierro asperjado y que ambas mezclas podrían ser muy útiles para reducir la clorosis férrica en los cítricos.

Palabras clave: deficiencia de hierro, sulfato ferroso, FeEDTA, citrato férrico, citrolina.

SUMMARY

Yield of citrus trees growing on calcareous soils is often low. This is related to an insufficiency of available soil iron and low contents of the element in the plant, which exhibit yellowing leaves, a disorder called iron chlorosis. With the aim of correcting iron deficiency,

the response of chlorotic orange trees Valencia (*Citrus sinensis*) and Italian lemon (*Citrus limon*) to foliar application of iron compounds in solution was studied. The individual spraying of ferrous sulfate 0.25%, chelate FeEDTA 0.25% and ferric citrate 0.25% produced slight re-greening in leaves and a significant increment of leaf iron concentration, but chlorosis was not corrected. When ferrous sulfate mixed with dispersant oil, 0.5% emulsified citrulline, was sprayed on chlorotic orange trees, re-greening and leaf iron content increased significantly. Lemon trees had the same response to mixtures of ferrous sulfate and ferric citrate in dissolution. This suggests that emulsified citrulline and the citrate ion improved leaf uptake of sprayed iron and that both mixtures could be very useful in reducing iron chlorosis in citrus.

Index words: iron deficiency, ferrous sulfate, FeEDTA, ferric citrate, citrulline.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los suelos del centro y norte de México son de tipo calcáreo (Rodríguez, 1986). Cuando los cítricos son plantados en estos suelos, la producción de fruta es generalmente baja y se relaciona con una insuficiente disponibilidad de hierro (Zaiter *et al.*, 1992; Chad *et al.*, 2003) y otros nutrientes para los árboles, así como con una pobre absorción y transporte de este elemento por las plantas (Tagliavini y Rombolá, 2001). Cuando la deficiencia de hierro es muy severa, se presenta un amarillamiento de las hojas, síntoma que se conoce como clorosis férrica. Aunque los suelos, en general, tienen grandes cantidades de hierro total, el elemento no se encuentra en forma disponible para las plantas, ya que forma óxidos e hidróxidos férricos de muy baja solubilidad (Loeppert, 1988). La presencia de altas cantidades de carbonatos y la alcalinidad asociada con estos compuestos en el suelo, son las principales causas de la baja solubilidad del hierro (Lindsay, 1979; Loeppert, 1988). Dentro de la planta, el principal factor asociado con la clorosis férrica bajo condiciones

¹ UAM Agronomía y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 87149 Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

[‡] Autor responsable (privera@uat.edu.mx)

de suelos calcáreos parece ser el efecto del ión bicarbonato sobre la absorción y el transporte del hierro (Inskeep y Bloom, 1986; Chouliaras *et al.*, 2004), dando como resultado la desactivación o inmovilización del hierro dentro de la planta (Obreza *et al.*, 1993).

La aspersión de hierro en solución sobre los cítricos para corregir el problema de la clorosis férrica es una práctica muy frecuente, pero no siempre resulta eficaz, ya que con ésta se obtienen resultados parciales y de escasa persistencia (Loussert, 1990). Las aspersiones foliares hacen reverdecer las hojas sólo en manchas que corresponden a los puntos de impacto de la solución, pero no producen ningún efecto sobre las hojas que brotan después de la aplicación, por lo que es necesario repetir las aspersiones durante el crecimiento de las hojas (Trocme y Gras, 1979). Según Obreza *et al.* (1993), la aplicación foliar de FeSO_4 y quelatos de hierro no corrigen satisfactoriamente la clorosis férrica en los árboles, debido a una pobre translocación del hierro en la hoja. Similarmente, Loué (1988) afirma que las aspersiones foliares representan una solución parcial para el problema de la clorosis férrica, pero pueden contribuir a evitar que los árboles mueran cuando la clorosis férrica es muy severa. Sin embargo, en muchos casos la aspersión foliar de hierro se ha utilizado con éxito pues se ha encontrado respuesta a algunos compuestos que se podrían asperjar sobre el follaje (Trocme y Gras, 1979), como sulfato ferroso, citrato férrico y quelatos de hierro (Chouliaras *et al.*, 2004; Álvarez-Fernández *et al.*, 2005) EDTA (ácido etilenodiamino-tetra acético), DTPA (ácido dietilen-triaminopenta acético), EDDHA (ácido etilen-diaminodihidroxifenil acético) y HEDTA (ácido hidroxi-etil etilen diamino triacético). De éstos, las aspersiones foliares con FeEDDHA son poco efectivas y el tratamiento más usual es el suministro de FeEDTA durante la brotación. En Arizona, Estados Unidos de América, la aplicación foliar de hierro es el método más popular debido a su bajo costo, comparado con las aplicaciones al suelo; siendo los quelatos de hierro los compuestos que más se aplican debido a sus resultados eficaces (Wright, 1996). Según Pestana *et al.* (2002), el uso frecuente de aspersiones foliares de sulfato ferroso en árboles de naranjo establecidos en suelos calcáreos aumentó la concentración de clorofila y hierro en las hojas, redujo la clorosis férrica y mejoró el rendimiento, el tamaño y la calidad de la fruta. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de árboles cloróticos de naranjo Valencia (*Citrus sinensis*) y de limón Italiano (*Citrus*

lemon) a la aplicación foliar de soluciones acuosas de sulfato ferroso, quelato FeEDTA, citrato férrico y una mezcla de citrolina emulsionada con sulfato ferroso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo dos experimentos de campo con un año de duración, en los cuales se aplicaron compuestos de hierro en solución acuosa al follaje de árboles de cítricos para corregir la clorosis férrica.

Experimento Naranjo Valencia

Éste se llevó a cabo en una huerta plantada con árboles de naranjo Valencia (*Citrus sinensis*) de 12 años de edad, en un suelo calcáreo de Padilla, Tamaulipas, México. El suelo tiene textura arcillosa; contenido elevado de carbonatos totales (42.0%); pH en agua, relación 1:2, medianamente alcalino (8.0), y contenido bajo de hierro extraíble con DTPA (2.7 mg kg⁻¹ de Fe). Cinco árboles cloróticos por tratamiento fueron asperjados cuatro veces con soluciones acuosas de quelato FeEDTA (0.25%), sulfato ferroso (0.25%) y una mezcla de sulfato ferroso (0.25%) con un aceite parafínico derivado del petróleo no fitotóxico, llamado citrolina emulsionada, la cual tuvo una concentración de 0.5%. La citrolina se utilizó en este ensayo por su efecto surfactante para lograr una mayor superficie humectada de las hojas y mejorar la absorción del hierro (Rodríguez y Almaguer, 1980; Mengel, 1995). Las aplicaciones se realizaron con un aspersor acoplado a un tractor con boquilla manual de baja presión (0.5 kg cm⁻²) de tipo pistola, a una dosis de 2500 L ha⁻¹ de solución (8 L árbol⁻¹). La primera aplicación se realizó a principios del mes de marzo, al terminar la brotación de los árboles, y a partir de ésta se hicieron tres aspersiones más, durante dos meses.

Experimento Limón Italiano

Este ensayo se llevó a cabo en una huerta de limón Italiano (*Citrus lemon*) establecida en un suelo calcáreo muy similar al anterior, ubicado en el municipio de Victoria, Tamaulipas. Las características del suelo fueron: textura migajón arcilloso; pH en agua, relación 1:2, medianamente alcalino (8.1); contenido elevado de carbonato de calcio (42.5%); rico en materia orgánica (3.9%), y pobre en hierro extraíble con DTPA (2.4 mg kg⁻¹ Fe). Se evaluó la respuesta de árboles de

cinco años de edad con clorosis férrica severa, a la aspersión foliar de soluciones acuosas de sulfato ferroso (0.25%), citrato férrico (0.25%) y una mezcla de ambos a las mismas concentraciones. Las aplicaciones se iniciaron a principios del mes de marzo cuando la brotación de los árboles había terminado y se realizaron cuatro veces con un aspersor de mochila en forma manual. A partir de este tiempo se hicieron tres aplicaciones más cada dos meses. El volumen de solución en cada aplicación fue de 1225 L ha⁻¹ (6 L árbol⁻¹).

Reverdecimiento Foliar y Concentración de Hierro

En ambos experimentos se evaluó la respuesta de los árboles a la aplicación de hierro mediante un muestreo de hojas inicialmente cloróticas, realizado un mes después de la cuarta aspersión, para medir la superficie reverdecida y la concentración del hierro total. Para cuantificar la superficie foliar reverdecida, durante el mes de agosto se tomaron y numeraron cuatro hojas de siete meses de edad de ramas sin fruto, inicialmente cloróticas, seleccionando la tercera hoja de brotes ubicados en los cuatro puntos cardinales a un altura de 1.60 m. Se determinó el área foliar con un equipo fijo LI-COR (LI-3100 AREA METER, LI-COR Inc. Lincoln, Nebraska, USA). Posteriormente, el contorno de cada hoja y de las manchas reverdecidas se calcó en una lámina plástica transparente, llenando con tono negro el área marcada de cada mancha; se recortó la imagen de la hoja y el recorte se hizo pasar a través del medidor de área foliar para determinar las áreas oscurecidas y conocer así el área reverdecida de cada hoja. Al igualar a 100 el área total de la hoja y conocer el área marcada de la misma, se pudo calcular el porcentaje de área reverdecida. Se utilizó el promedio de las cuatro hojas seleccionadas de cada árbol para llevar a cabo el análisis estadístico. Para medir la concentración foliar de hierro total se muestrearon hojas de siete meses de edad, inicialmente cloróticas; se lavaron con agua corriente frotándolas entre los dedos, se sumergieron en un solución de HCl al 6%, se enjuagaron con agua corriente y agua destilada, se secaron a 65 °C, se molieron y se digirieron con ácido nítrico y perclórico (Chapman y Pratt, 1961). El hierro se cuantificó por espectrofotometría de absorción atómica. El diseño experimental que se utilizó en ambos ensayos fue un diseño de bloques completamente al azar con cinco repeticiones de cada tratamiento, considerando a cada

árbol como una unidad experimental. El análisis estadístico consistió en análisis de varianza y prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta de Árboles de Naranjo Valencia

En el Cuadro 1 se presenta la superficie foliar reverdecida por la aspersión de soluciones de sulfato ferroso solo, sulfato ferroso mezclado con citrolina emulsionada y quelato FeEDTA en árboles de naranjo Valencia. La sal ferrosa causó un pequeño reverdecimiento en forma de manchas circulares (de 1 mm de diámetro, aproximadamente) que abarcó 5% de la hoja, siendo muy localizado el efecto (Loussert, 1990). Este porcentaje de reverdecimiento foliar fue prácticamente igual a la proporción de superficie reverdecida en las hojas asperjadas con solución de quelato FeEDTA. Sin embargo, cuando el sulfato ferroso se asperjó mezclado con citrolina emulsionada, la respuesta fue notablemente mayor, pues provocó manchas verdes circulares de unos 5 mm y un reverdecimiento aproximadamente del 50% de la superficie de hojas inicialmente cloróticas. La escasa respuesta de los árboles al sulfato ferroso y al FeEDTA se debió a una baja cobertura de las soluciones sobre las hojas, ya que las soluciones formaron pequeñas gotas que generaron los puntos de reverdecimiento. Esto presume que la translocación del hierro asperjado en dichos compuestos fue baja (Loué, 1988; Obreza *et al.*, 1993). En contraste, la aspersión de sulfato ferroso acompañado con citrolina aumentó la cobertura de la solución sobre la superficie foliar, debido a su efecto surfactante, con lo cual la absorción foliar de hierro fue mayor (Rodríguez y Almaguer, 1980; Mengel, 1995).

En cuanto a la concentración de hierro total en las hojas, los árboles sin tratar tuvieron 44.4 mg kg⁻¹ de Fe mientras que en los asperjados con sulfato ferroso solo, el contenido del elemento se triplicó (126.2 mg kg⁻¹ de Fe). En los árboles tratados con quelato FeEDTA se encontró una concentración de 94.4 mg kg⁻¹ de Fe que fue estadísticamente igual al tratamiento con sulfato ferroso solo. La mayor concentración foliar de hierro se registró cuando el elemento se aplicó en forma de sulfato ferroso mezclado con el aceite citrolina emulsionada, pues la concentración llegó casi a 200 mg kg⁻¹, lo que representa un incremento de aproximadamente cuatro veces la concentración de los árboles sin tratar. Se

postula que tal respuesta se debió a la acción surfactante del aceite que permitió una mejor distribución de la solución ferrosa sobre la superficie de la hoja, haciendo que la concentración foliar del hierro aumentara (Cuadro 1). Estos resultados indican que la citrolina emulsionada puede mejorar la eficiencia de las aspersiones foliares de sulfato ferroso en la corrección de la clorosis férrica. El rendimiento de fruta no fue afectado por la aspersión de hierro en el periodo experimental de un año; se espera que la producción se incremente durante el segundo año de tratamiento foliar con soluciones de sulfato ferroso mezclado con citrolina emulsionada.

El humedecimiento incompleto de la superficie foliar con las soluciones acuosas de sulfato ferroso y FeEDTA debido a la formación de gotas en la superficie de la hoja, limitó la absorción del elemento a los puntos de contacto de la solución, sin que la presencia del quelato EDTA aumentara la absorción de hierro. Una pobre respuesta a la aplicación foliar de este quelato fue encontrada también por Obreza *et al.* (1993). Sin embargo, en el presente estudio se observó que todos los tratamientos foliares de hierro aumentaron significativamente el contenido del elemento en las hojas hasta concentraciones superiores a 60 mg kg⁻¹ Fe, valor considerado como nivel crítico según Embleton *et al.* (1973) (Cuadro 1). La baja respuesta de la planta en reverdecimiento, a pesar del incremento en la concentración foliar de hierro, se debió a una baja movilidad del hierro, provocada por las características calcáreas del suelo que inducen una alta concentración del ión bicarbonato en el apoplasto (Zribi, 2002), el cual incrementa el pH y provoca la precipitación del hierro en ese espacio. Según Fleming *et al.* (1984) y Wiren y

Cuadro 1. Superficie reverdecida y concentración de hierro en hojas inicialmente cloróticas de naranjo Valencia, después de asperjarse con soluciones de sulfato ferroso sólo, con citrolina emulsionada y quelato FeEDTA.

Tratamiento	Superficie foliar reverdecida	Concentración foliar de Fe
	%	mg kg ⁻¹
Sulfato ferroso (0.25%)	5.0 b	126.2 b
Sulfato ferroso (0.25%) con Citrolina [†] (0.50%)	50.0 a	197.4 c
Quelato FeEDTA (0.25%)	5.3 b	94.4 b
Testigo	0	44.4 a

[†] Aceite parafínico derivado del petróleo, no fitotóxico.

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05).

Grusak (2000) el ión bicarbonato restringe incluso el transporte del hierro de las nervaduras y del apoplasto al citoplasma de las células de las hojas. Consecuentemente, las hojas pueden tener un nivel aparentemente adecuado de hierro total, pero estar fisiológicamente deficientes en este elemento (Römhild, 2000). La existencia de hierro inactivo en las hojas ha sido demostrada por varios autores (Kosegarten y English, 1994; Mengel, 1995; Tagliavini *et al.*, 1995), ya que en suelos calcáreos una parte del hierro absorbido no pasa a la membrana plasmática de la hoja sino que queda depositado en el apoplasto (Tagliavini *et al.*, 2000).

Respuesta de Árboles de Limón Italiano

En el Cuadro 2 se presentan el porcentaje de superficie foliar reverdecida y la concentración de hierro en hojas de árboles de limón Italiano, asperjados con soluciones de sulfato ferroso y citrato férrico. La aplicación de estas sales de manera individual provocó un bajo reverdecimiento de las hojas (de 4 a 5%) en forma de manchas circulares, pero cuando éstas se asperjaron mezcladas, la respuesta fue significativamente mayor, ya que se logró un reverdecimiento de las hojas de casi un 20% de la superficie foliar. Esta respuesta se debe, probablemente, a que el ión citrato disminuyó la precipitación del sulfato ferroso dentro de la planta y facilitó la absorción y el transporte del hierro, como lo señala Römhild (1991). Se cree que al juntar la solución de citrato férrico con la solución de sulfato ferroso, los aniones citrato disociados se unieron a los iones Fe²⁺ formando una combinación de hierro que tuvo una mayor capacidad de ser absorbida y transportada dentro de la hoja. Similarmente, Tiffin (1970) señala que el citrato es el principal compuesto involucrado en mantener móvil al hierro dentro de las plantas, ya que este anión es el

Cuadro 2. Superficie reverdecida de hojas cloróticas de limón Italiano, asperjadas con soluciones de hierro en forma de citrato férrico y sulfato ferroso.

Tratamiento	Superficie foliar reverdecida	Concentración foliar de Fe
	%	mg kg ⁻¹
Citrato férrico (0.25%)	3.7 b	214 a
Sulfato ferroso (0.25%)	5.3 b	163 b
Citrato férrico (0.25%) + Sulfato ferroso (0.25%)	19.3 a	229 a
Testigo	0	58 c

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey 0.05).

transportador natural del micronutriente por tener una gran afinidad por él y una alta capacidad para disminuir su precipitación.

CONCLUSIONES

- La aplicación foliar de sulfato ferroso 0.25% disuelto en agua y mezclado con citrolina emulsionada al 0.50% redujo, aproximadamente a la mitad, la clorosis de las hojas en árboles de naranjo Valencia plantados en suelos calcáreos.
- El sulfato ferroso 0.25% corrigió una quinta parte de la clorosis férrica de las hojas en árboles de limón Italiano cuando esta sal se asperjó disuelta en agua acompañada de citrato férrico 0.25%.
- La aplicación de soluciones acuosas de sulfato ferroso 0.25% a árboles de naranjo Valencia y limón Italiano no corrigieron la clorosis férrica. Tampoco la corrigió la aspersión de quelato FeEDTA 0.25% al follaje de naranjo Valencia.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Fernández A., S. García-Marco, and J. J. Lucena. 2005. Evaluation of synthetic iron (III)-chelates (EDDHA/Fe³⁺, EDDHMA/Fe³⁺ and the novel EDDHSA/Fe³⁺) to correct iron chlorosis. Eur. J. Agron. 22: 119-130.
- Chad B. G., J. P. Schmidt, A. J. Schlegel, R. K. Taylor, C. R. Thompson, and R. J. Gehl. 2003. Correcting iron deficiency in corn with seed row-applied iron sulfate. Agron. J. 95: 160-166.
- Chapman, H. D., and P. R. Pratt. 1961. Plant analysis. pp. 56-64. In: H. D. Chapman (ed.). Methods of analysis for soils, plants and waters. Div. Agr. Sci. University of California. Riverside, CA, USA.
- Chouliaras, V., I. Therios, A. Molassiotis, A. Patakas, and G. Diamantidis. 2004. Effect of iron deficiency on gas exchange and catalase and peroxidase activity in citrus. J. Plant Nutr. 27: 2085-2099.
- Emblenton, T. W., W. W. Jones, C. K. Labanauskas, and W. Reuther. 1973. Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization. pp. 183-210. In: W. Reuther (ed.). The citrus industry. University of California. Berkeley, CA, USA.
- Fleming, A. L., R. L. Chane, and B. A. Coulombe. 1984. Bicarbonate inhibits Fe-stress response and Fe uptake-translocation of chlorosis susceptible soybeans cultivars. J. Plant Nutr. 7: 699-714.
- Inskeep, W. P. and P. R. Bloom. 1986. Effects of soil moisture on soil pCO₂, soil solution bicarbonate, and iron chlorosis in soybeans. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 946-952.
- Kosegarten, H. and G. English. 1994. Effect of various nitrogen forms on the pH in leaf apoplast and iron chlorosis of *Glycine max* L. Z. Planzenernaehr. Bodenk. 157: 401-405.
- Lindsay, W. L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley. New York, NY, USA.
- Loué, A. 1988. Los micronutrientes en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Loeppert, R. H. 1988. Chemistry of iron in calcareous systems. pp. 689-714. In: J. W. Stucki, B. A. Godman, and U. Schwertmann (eds.). Iron in soils and clay minerals. NATO ASI Series. Dordrecht, Holland. The Netherlands.
- Loussert, R. 1990. Los agrios. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Mengel, K. 1995. Iron availability in plant tissues-iron chlorosis in calcareous soils. pp. 389-391. In: J. Abadía (ed.). Iron nutrition in soils and plants. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Obreza, A. T., A. K. Alva, and D. U. Calvert. 1993. Citrus fertilizer management on calcareous soils. Circular 1127, Series of the Soil and Water Science Department. University of Florida. Gainesville, FL, USA.
- Pestana, M., P. J. Correia, M. G. Miguel, A. de Varennes, J. Abadía, and E. de Araújo-Faria. 2002. Foliar treatments as a strategy to control iron chlorosis in orange trees. International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants. Italy. Acta Hort. (ISHS)-594: 223-228. http://www.actahort.org/books/594_594_25.htm. (Consulta: enero 22, 2003).
- Rodríguez N., F. 1986. Clorosis férrica: definición, causas, importancia y alternativas en México. Terra 4: 187-199.
- Rodriguez, A. J. and G. V. Almaguer. 1980. Effects of some chemicals on red raspberry bud break. Acta Hort. (ISHS) 112: 217-220. http://www.actahort.org/books/112/112_30.htm (Consulta: junio 4, 2007)
- Römhild, V. 1991. The role of phytosiderophores in acquisition of iron and other micronutrients in gramineous species. An ecological approach. Plant Soil 130: 127-134.
- Römhild, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grape vine. J. Plant Nutr. 13: 1629-1643.
- Tagliavini M., D. Scudellari, B. Marangoni, and M. Toselli. 1995. Acid spray regreening of kiwi fruit leaves affected by lime-induced iron chlorosis. pp. 191-195. In: J. Abadía (ed.), Iron nutrition in soils and plants. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Tagliavini, M., J. Abadía, A. D. Rombolá, A. Abadía, C. Tsipouridis, and B. Marangoni 2000. Agronomic means for the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees. J. Plant Nutr. 23: 2007-2022.
- Tagliavini, M. and A. D. Rombolá. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. Eur. J. Agron. 15: 71-92.
- Tiffin, L. O. 1970. Translocation of iron citrate and phosphorus in xylem exudate of soybeans. Plant Physiol. 45: 280-283.
- Trocme, S. y R. Gras. 1979. Suelo y fertilización en fruticultura. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Wiren, N. V. and M. A. Grusak. 2000. Summary of IX International Symposium of Iron Nutrition and Interactions in Plants. J. Plant Nutr. 23: 2083-2102.
- Wright, C. G. 1996. Citrus micronutrients. Cooperative extension. College of Agriculture & Life Sciences, University of Arizona. Volume 4, Issue 2. <http://ag.arizona.edu/aes/citrusnews/Fertilization%20articles/Fertilization%20article%203.htm>. (Consulta: febrero 25, 2004).

- Zaiter, H. Z., D. P. Coyne, R. B. Clark, D. T. Llindgren, P. T. Nordquist, W. W. Stroup, and L. A. Pavlish. 1992. Leaf chlorosis and seed yield of dry beans grown on high-pH calcareous soil following foliar iron sprays. *HortScience* 27: 983-985.
- Zribi, K. 2002. Effect of bicarbonate on growth and iron nutrition of pea. *J. Plant Nutr.* 25: 2143-2149.