

EFFECTO DE ÁCIDOS Y SULFATO FERROSO APLICADOS FOLIARMENTE EN LA NUTRICIÓN DE HIERRO EN AGUACATES

J. Crane¹, B. Schaffer¹, E. Evans¹, W. Montas¹ y C. Li¹

University of Florida, IFAS, Tropical Research and Education Center, 18905 S.W. 280 St., Homestead, Florida 33031, USA. E-mail: jhcr@ufl.edu

La deficiencia de hierro es un serio problema en suelos calcáreos. La aplicación de quelato de hierro a suelos calcáreos es eficaz pero muy costosa. Se investigó los efectos de aplicaciones foliares de ácidos orgánicos y de ácidos orgánicos más sulfato ferroso (SF) en la nutrición de hierro de aguacate “Donnie” de 10 años, en suelos calcáreos del sur de Florida. Los árboles recibieron a intervalos de 13-14 días los siguientes tratamientos foliares: ácido ascórbico (A), A más SF (ASF), ácido cítrico más SF (CSF) y ácido sulfúrico más sulfato ferroso (SSF). Otros tratamientos adicionales fueron: quelato de hierro (EDDHA-Fe) aplicado al suelo 3 veces cada 27 ó 28 días y un testigo sin recibir hierro (CNT). Se añadió un adyuvante de silicona orgánica a todos los tratamientos foliares. En cuatro de las siete fechas en que se hicieron mediciones, los árboles en el tratamiento con EDDHA-Fe tuvieron índices de clorofila más altos determinados con un equipo SPAD (valores SPAD) que aquellos bajo otros tratamientos. En dos de las fechas en que se hicieron mediciones, los árboles bajo tratamientos SSF y ASF tuvieron valores SPAD más altos que aquellos bajo tratamientos CNT y A. El contenido total de hierro en las hojas fue más alto en los tratamientos SSF y CSF que en los tratamientos ASF, EDDHA-Fe, CNT y A. No hubo diferencia en el total de hierro en las hojas entre los tratamientos CSF y ASF. El contenido de hierro ferroso fue más alto en los tratamientos SSF, CSF, ASF que en aquellos con EDDHA-Fe, A y CNT después de 6 aplicaciones foliares con ácido y 3 de EDDHA-Fe al suelo. El análisis económico indicó que los tratamientos foliares con ácido-hierro fueron entre un 75% y un 88% menos costosos que las aplicaciones de EDDHA-Fe al suelo.

EFFECT OF FOLIARLY-APPLIED ACIDS AND FERROUS SULFATE ON IRON NUTRITION OF AVOCADO TREES

J. Crane¹, B. Schaffer¹, Y. Li¹, E. Evans¹, W. Montas¹ and C. Li¹

¹ University of Florida, IFAS, Tropical Research and Education Center, 18905 S.W. 280 St., Homestead, Florida 33031, USA. Email: jhcr@ufl.edu

Iron deficiency is a major problem of avocado grown in calcareous soils. Applying chelated iron to calcareous soil is efficacious but very expensive. The effects of foliarly applied organic acids and organic acids plus ferrous sulphate (FS) on iron nutrition of 10-year-old ‘Donnie’ avocado trees in calcareous soil was investigated in southern Florida. At 13-14 day intervals, trees received the following foliar treatments: ascorbic acid (A), A plus FS (AFS), citric acid plus FS (CFS), and sulphuric acid plus FS (SFS). Additional treatments were chelated iron (EDDHA-Fe) applied to the soil 3 times at 27-28 day intervals and a control receiving no iron (CNT). An organosilicone adjuvant was added to all foliar sprays. On 4 of 7 measurement dates, trees in the EDDHA-Fe

treatment had higher leaf chlorophyll indexes determined with a SPAD meter (SPAD values) than trees in all other treatments. On 2 measurement dates, trees in the SFS and AFS treatments had higher SPAD values than trees in the CNT and A treatments. Total leaf iron content was higher for the SFS and CFS treatments than the AFS, EDDHA-Fe, CNT, and A treatments. There was no difference in total leaf iron content between the CFS and AFS treatments. Leaf ferrous iron (Fe^{2+}) content was higher for the SFS, CFS, AFS treatments than the EDDHA-Fe, A, and CNT treatments after 6 foliar acid applications and 3 EDDHA-Fe applications to the soil. Economic analysis indicated that foliar acid-iron treatments were 75 to 88% less costly than soil applications of EDDHA-Fe.

INTRODUCCIÓN

El hierro es un elemento esencial para diversas funciones metabólicas, incluyendo la síntesis de clorofila y el sistema de transporte de electrones en la respiración (Taiz y Zeiger, 1998). Todas las plantas necesitan un suplemento continuo de hierro durante su crecimiento debido a que éste no es translocado de las hojas maduras a las hojas en crecimiento siendo así clasificado como un elemento nutricional inmóvil (Mengel y Kirkby, 1982).

La absorción del hierro en la raíz involucra la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} en la membrana celular de las células epidérmicas de la raíz; esta reducción es catalizada por la enzima FeIII reductasa (Mengel 1994). Después de que el hierro es reducido en las raíces, es re oxigenado a Fe^{3+} en el apoplasto donde luego se combina con el ácido cítrico (Schmidt, 1999). El hierro es transportado por el xilema de la raíz hasta las hojas como citrato-férrico y luego es reducido en el apoplasto de la hoja a Fe^{2+} donde es transportado a través de la membrana plasmática hacia el simplasma donde es metabolizado por la planta (De la Guardia and Alcántara, 1996; Kosegarten et al., 2001; Mengel, 1994; Taiz and Zeiger, 1998). Usualmente en suelos calcáreos una considerable cantidad de hierro es translocada de la raíz a las hojas, pero la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} por la reductasa en las hojas se dificulta por el alto pH en el apoplasto (Brüggemann et al., 1993; Gonzáles-Vallejo, 2000; Mengel et al., 1994; Mengel and Geurtzen, 1986).

Alrededor del 12% de los suelos agrícolas del mundo son calcáreos (FAO-AGL, 2007) y en el hemisferio occidental, las áreas de producción de aguacate en suelos calcáreos incluyen el sur de la Florida, la región del Caribe (ag., Islas Vírgenes y Puerto Rico) (Anónimos, 2004; Martinez et al., 1998) y Chile (Británica, 2007; Vera, 2006). Los suelos calcáreos están caracterizados por un pH alto debido a las grandes cantidades de carbonato de calcio (piedra caliza). La mayoría del hierro en estos suelos no está disponible para la planta debido a estar fuertemente ligado a las partículas del suelo o por precipitación de óxidos de hierro insolubles (Mengel and Kirkby, 1982). La concentración de bicarbonato apoplástico y el pH de las plantas que crecen en los suelos calcáreos es también alta (Mengel and Geurtzen, 1988; Mengel 1994).

Los árboles de aguacate que crecen en suelos calcáreos pueden exhibir signos típicos de deficiencia de hierro incluyendo amarillamiento del tejido entre venas y hojas nuevas que es llamado clorosis ferrosa o clorosis inducida por cal (Lucena, 2000; Mengel and Guertzen, 1986). La deficiencia de hierro en aguacate puede producir frutos de color verde claro o amarillo y hojas con deficiencias severas de Fe que por ende se tornan de color amarillo pálido. Los aguacates en los suelos calcáreos del sur de Florida que comúnmente presenta deficiencias de Fe contienen mayor concentración de hierro total extraíble en las hojas comparados con otras regiones donde se cultiva en suelos arenosos y arcillosos (Chen et al., 2000; Li et al., 2003). En este tipo de suelo, las plantas que presentan síntomas de deficiencia de hierro pueden tener la misma o mayores concentraciones de hierro en hoja que en plantas asintomáticas (Mengel, 1994; Mengel et al., 1994).

Las aplicaciones al suelo de fertilizantes con hierro no quelatados no previenen o alivian las deficiencias de hierro en las plantas de aguacate producidas en suelos calcáreos (Malo, 1965). Un método efectivo para prevenir deficiencias de hierro en estos casos es mediante el uso de hierro quelatado (Li et al., 2002; Malcolm, 1953; Malo, 1965; Malo, 1966; Harkness and Malcolm, 1957; Lahav and Whiley, 2002). De los diversos quelatos ensayados, EDDHA-Fe aplicado como tratamiento al suelo ha superado al resto de los materiales y se ha convertido en la práctica más común en el manejo del cultivo de aguacate en suelos calcáreos del sur de Florida (Malcolm, 1953; Harkness and Malcolm, 1957; Malo, 1965; Malo, 1966). Sin embargo, el hierro quelatado es muy costoso y es considerado el fertilizante más caro para la producción de aguacates en estas condiciones.

El costo del hierro quelatado se encuentra en un rango de US \$13.00 a \$22.00 por Kg. Los productores de frutas tropicales en la zona del sur de Florida generalmente aplican entre 25 a 80 kg/ha/año, dependiendo del cultivo y los requerimientos nutricionales de la plantación (Crane et al., 2005). Por ende, el hierro quelatado puede representar hasta un 80% de costo total de fertilizantes y hasta un 50% de costo total de agroquímicos en la fruticultura tropical y subtropical (Evans, 2005). Existe una necesidad lógica por alternativas más económicas que el hierro quelatado para prevenir y mitigar sus deficiencias en los cultivos tropicales producidos en suelos calcáreos.

Las aplicaciones foliares de fertilizantes con hierro no son muy efectivas en fruticultura tropical y subtropical (Davenport, 1983; Malo, 1965). Por ejemplo, aspersiones foliares de hierro no tuvieron efecto en el reverdecimiento y en algunos casos, quemaron las hojas con deficiencia de hierro en plantas de aguacate cultivadas en suelos calcáreos (Embleton and Jones, 1966; Harkness and Malcolm, 1957; Kadman and Lahav, 1971-72; Malo, 1965).

La reducción del pH apoplástico de las hojas con clorosis férrica por medio de aplicaciones foliares de ácidos diluidos como ácido sulfúrico, ácido cítrico o ácido ascórbico produjo una reducción del pH en el apoplasto de la hoja y un reverdecimiento de las hojas de algunos frutales tales como el kiwi (Tagliavini et al., 1995), naranja

(Pestana et al., 2001), pera (Garcia-Lavina et al., 2002) y melocotón (Tagliavini et al., 2000) producidos en suelos calcáreos.

Estudios preliminares en lichi, carambola, anona de ciénaga y aguacate usando ácidos débiles con hierro produjeron hojas con contenidos de hierro más altos que las hojas tratadas solamente con ácido (B. Schaffer, unpublished data), o que las hojas de las plantas control sin tratamiento. Por ello, existe el potencial para el uso de aplicaciones foliares de ácidos débiles como una alternativa económica a los costosos hierros quelatados utilizados para prevenir deficiencias de hierro en plantas de aguacate en suelos calcáreos. El propósito de este estudio fue ensayar los efectos de las aplicaciones foliares de ácidos débiles y ácidos débiles combinados con sulfato ferroso en el reverdecimiento y contenido de hierro total en hojas de aguacate que presentaban signos de deficiencia de hierro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Una arboleda de aguacate comercial 'Donnie' de 11 años de edad (injertado en 'Waldin') fue utilizada para comparar la eficacia de la aplicación foliar de ácido sulfúrico (AS+Fe), ácido cítrico (AC+Fe), ácido ascórbico (AA+Fe), cada una con con sulfato ferroso y un adyuvante (Freeway[®], Loveland Products, Inc., Greeley, Colorado, USA), ácido ascórbico con adyuvante (AA sólo), la aplicación al suelo de EDDHAF_e (quelato aplicado al suelo), y un control sin ácido ni hierro CNT (Cuadro 1). Las aplicaciones foliares se realizaron cada 13-14 días (septiembre 15 a noviembre 22, 2006), mientras que las aplicaciones de quelatos se realizaron con un intervalo de 28 días (Cuadro 1). Se uso diseño totalmente aleatorio con 5 a 6 árboles por tratamiento.

El índice de clorofila en la hoja, que proporciona un medida objetivo de su "verdor", fue estimado previamente a cada aplicación foliar de ácido-hierro en 5 hojas adultas seleccionadas al azar en los lados este y oeste de la copa de 5 a 6 árboles (que se muestrearon repetidamente) en cada tratamiento con la ayuda de un medidor de clorofila SPAD (Minolta, Inc., Japan). Los valores SPAD fueron medidos de 1 a 2 días previos a cada aplicación foliar de ácido-hierro y 3 meses después de la última aplicación. Existe una alta correlación entre los valores SPAD y el contenido de clorofila en hojas de aguacate ($r^2 = 0.91$) (B. Schaffer, unpublished data).

El 2 de diciembre de 2006, el contenido de hierro total y de hierro ferroso fueron determinados por muestreos de 3 hojas adultas por replicación. Para determinar el hierro en hoja, las muestras fueron lavadas con detergente y ácido diluido (1% HCL), y enjuagadas con agua desionizada. Las muestras lavadas fueron secadas al horno a 70°C y después molidas. Las muestras (0.5g) fueron incineradas a 500°C durante 5 horas, luego disueltas en 20 ml de HCl e inyectadas en el espectrofotómetro atómico de absorción (Shimadzu AA-6300 con GFA-EX7i, Columbia, Maryland, USA). El hierro ferroso fue determinado a partir de 0.5 g de muestra foliar (tomada de 3 hojas por replicación) usando una modificación de la técnica descrita por Katyal y Sharma (1980, 1984). Después de que la muestra foliar fue lavada (descrita en la extracción de hierro total) y molida en un molino miniatura (Minimate Plus Chopper/Grinder, Cuisinart, East Windsor, New Jersey, USA) se le agregó 5 ml 76 mMol 1,10-fenatrolina. La solución fue

agitada en una agitadora automática durante 17 horas y luego filtrada a través de un filtro de jeringuilla 0.45 µl (Fisher Scientific Co., Pittsburgh, Pennsylvania, USA). La absorbancia de la muestra filtrada fue determinada a 510 nm con un espectrofotómetro (Model No. Du 640, Beckman Coulter Co., Fullerton, California, USA). Los valores de absorbancia fueron calibrados con estándares de sulfato ferroso y la concentración del hierro ferroso de las hojas fue calculada como describen Katyl and Sharma (1980).

Durante el experimento, los árboles de cada tratamiento fueron observados por si presentaban signos de fitotoxicidad o alguna diferencia obvia en la fenología de la planta. La información fue analizada por ANOVA y Duncan-Waller en rangos múltiples usando SAS statistical software (SAS Institute, Cary, North Carolina).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de hierro total en hojas fue significativamente más alto en los tratamientos de AS-Fe (Cuadro 2). Sin embargo, todo los tratamientos foliares de acido más el sulfato ferroso en tuvieron una tendencia a presentar mayores concentraciones de hierro total que los tratamientos donde se aplicó el hierro quelatado al suelo, los de AA sólo, o los testigos. La actividad radicular de los aguacates se reduce a temperaturas inferiores a 15° C lo que podría haber reducido la respuesta al EDDHA-Fe (Whiley and Schaffer, 1994). El contenido total de hierro en hoja fue similar en los tratamientos aplicados al suelo, a los de AA solo, y al de los testigos.

No se encontró diferencia significativa de valores SPAD entre las hojas muestreadas de los lados este a oeste del follaje y por ende los datos recolectados de ambos lados de la planta fueron combinados (datos no presentados). No se encontró diferencia significativa en los valores SPAD previos al inicio de los tratamientos, aunque se encontró diferencia significativa entre tratamientos desde mediados de septiembre del 2006 y de nuevo en febrero del 2007 (Figura 1). Aunque no siempre se encontró significación estadística, los árboles en los tratamientos donde se aplicaron quelatos al suelo y los tratamientos de AA+Fe presentaban valores de SPAD significativamente más altos que los de AA sólo o los mismos testigos desde finales de septiembre hasta octubre. Los valores de SPAD fueron generalmente intermedios para los árboles con tratamientos de AC+Fe y AS+Fe comparados con las aplicaciones de quelatos al suelo, las de AA+Fe, las de AA sólo y los testigos.

Hubo una gran diferencia en el costo por hectárea entre tratamientos (Cuadro 3). Como se esperaba, aplicar EDDHA-Fe al suelo fue el tratamiento más costoso con un valor total de \$954 por hectárea. AS+Fe resultó ser el tratamiento más barato con un costo de \$178 por hectárea, sin embargo, como ya se ha señalado, este tratamiento no fue tan efectivo como los quelatos aplicados al suelo y el de AA+Fe. Todas las aplicaciones foliares producirían ahorros considerables comparadas con las aplicaciones al suelo. Ahorros que varían entre \$604 y \$776 por hectárea implicarían reducciones de un 63% a un 81% del costo de aplicación de EDDHA-FE al suelo.

Los valores de SPAD en los tratamientos AA+Fe fueron similares a los tratamientos de quelatos aplicados al suelo. En efecto, los tratamientos de AA+ Fe tuvieron un potencial de ahorro de costos de un 63% comparado con los quelatos aplicados al suelo. Estos resultados sugieren que más investigaciones utilizando ácidos débiles con hierro pueden traer grandes beneficios. Las aplicaciones foliares con ácido ascórbico y hierro fueron más efectivos durante la primavera y el verano en árboles de carambola 'Arkin' comparadas con las del otoño y del invierno (Crane et al., 2007). Esto fue atribuido al cese de crecimiento de carambola a temperaturas de suelo y ambiente menores de 20°C (George et al., 2002a; 2002b, and 2000). Esto podría suceder también en aguacate. Ya hay estudios encaminados a determinar si existen cambios temporales en la eficiencia de aplicación de ácidos débiles y hierro para mitigar las deficiencias de hierro en aguacate en los suelos calcáreos de Florida.

LITERATURA CITADA

Anonymous. 2004. Caribbean Area Online Soil Survey Manuscripts. USDA-NRCS. http://soils.usda.gov/survey/online_surveys/caribbean/

Britannica. 2007. Chile Soils. Encyclopedia Britannica Online [Accessed 5-28-07 (<http://www.britannica.com/eb/article-24677/Chile>)].

Brüggemann, W., K. Maas-Kantel and P.R. Moog. 1993. Iron uptake by leaf mesophyll cells: the role of the plasma membrane-bound ferric-chelate reductase. *Plant* 190:151-155.

Chen, M., L.Q. Ma and Y.C. Li. 2000. Concentrations of P, K, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, and As in Soils from South Everglades. *Soil Crop Sci. Soc. Florida Proc.* 59:124-129.

Crane, J.H., C.F. Balerdi, and I. Maguire. 2006. Avocado growing in the Florida home landscape, Cir. 1034. Hort. Sci. Dept., Fla. Coop. Extn. Service, IFAS, Univ. of Fla., p.1-16.

Crane, J. and B. Schaffer. 2001. Irrigation and fertilization optimization project to extend best management practices to fruit and vegetable growers in the south Miami-Dade basin. Fla. Dept. Envir. Protection Contract WM-678. Section 319 Nonpoint Source Pollution Control Program Final Report. P. 104.

Davenport, T.L. 1983. Importance of iron to plants grown in alkaline soils. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 96:188-192.

De la Guardia, M.D. and E. Alcántara. 1996. Ferric chelate reduction by sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaves: influence of light, oxygen, iron-deficiency and leaf age. *J. Expt. Bot.* 47:669-675.

Embelton, T.W. and W.W. Jones. 1966. Avocado and mango nutrition. Pp. 51-76. In: Temperate to Tropical Fruit Nutrition. N.F. Childers (ed.). Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey.

Evans, E.A. 2005. Florida avocado production and profitability analysis, FE575. Food and Resource Econ. Dept., Fla. Coop. Extn. Service, IFAS, Univ. of Fla. P.1-5.

FAO-AGL. 2007. Calcareous soils. In: FAO-AGL ProSoil – Problem Soils Database, land and plant nutrition management service. [<http://www.fao.org/ag/agl/agll/prosoil/calc.htm>]

Garcia-Lavina, P., A. Alvarez-Ferandez, J. Abadia, and A. Abadia. 2002. Foliar applications of acids with and without FeSO₄ to control chlorosis in pear. Proc. Intl. Symposium on Foliar Nutrition, Acta Hort. 594:217-222.

George, H.L., F.S. Davies, J.H. Crane, and B. Schaffer. 2002a. Root temperature effects on 'Arkin' carambola (*Averrhoa carambola* L.) trees. I. Leaf gas exchange and water relations. Scientia Horticulturae 96:53-65.

George, H.L., F.S. Davies, J.H. Crane, and B. Schaffer. 2002b. Root temperature effects on 'Arkin' carambola (*Averrhoa carambola* L.) trees. II. Growth and mineral nutrition. Scientia Horticulturae 96: 67-79.

George, H.L., J.H. Crane, B. Schaffer, F.S. Davies, and Y. Li. 2000. Effect of polyethylene and organic mulch on soil temperatures, growth and yields of 'Arkin' carambola. Proc. Fla. State Hort. Soc. 113:5-11.

González-Vallejo, F. Morales, L. Cistué, A. Abadía and J. Abadía. 2000. Iron deficiency decreases the Fe(III)-chelate reducing activity of leaf protoplasts. Plant Physiol. 122:337-344.

Harkness, R.W. and J.L. Malcolm. 1957. Iron chlorosis in avocado. Proc. Fla. State Hort. Soc. 70:297-300.

Katyal, J.C. and B.D. Sharma. 1980. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. Plant and Soil 55:105-119.

Katyal, J.C. and B.D. Sharma. 1984. Some modification in the assay of Fe²⁺ in 1-10 o-phenanthroline extracts of fresh plant tissues. Plant and Soil 79:449-450.

Kadman, A. and E. Lahav. 1971-72. Experiments with various treatments to cure chlorotic avocado trees. Calif. Avocado Soc. Yrbk. 55:176-178.

Kosgarten, H., B. Hoffmann and K. Mengel. 2001. The paramount influence of nitrate in increasing apoplastic pH of young sunflower leaves to induce Fe deficiency chlorosis,

and the re-greening effect brought about by acidic foliar sprays. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164:155-163.

Lahav, E. and A.W. Whiley. 2002. Irrigation and mineral nutrition. In: *Avocado: Botany, Production and Uses*. A.W. Whiley, B. Schaffer and B.N Wolstenholme (eds.). CABI Publishing, Wallingford, UK. 416 pp.

Li, Y.C., R. Rao, and J.H. Crane. 2003. Evaluation of Sequestrene138 and other chelated iron fertilizers for lychee trees grown on a calcareous soil. Research Report No. TREC-LI03-01. University of Florida, Tropical Research and Education Center, Homestead, FL.

Lucena, J. 2000. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review. *J. Plant Nutrition* 23:1591-1601.

Malcolm, J.L. 1953. Chelates for the correction of iron chlorosis in subtropical plants. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 66:179-184.

Malo, S.E. 1965. Promising methods for correcting iron chlorosis in avocados – a preliminary report. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 78:358-364.

Malo, S.E. 1966. Correction of iron chlorosis of avocados growing in calcareous soils. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 79:386-390.

Mengel, K. 1994. Iron availability in plant tissue – iron chlorosis on calcareous soils. *Plant and Soil* 165:275-283.

Mengel, K. and G. Geurtzen. 1988. Relationship between iron chlorosis and alkalinity in *Zea mays*. *Physiologia Plantarum* 72:460-465.

Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1982. Iron. In: *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland. P.293-512.

Mengel, K., R. Planker and B. Hoffmann. 1994. Relationship between leaf apoplast pH and iron chlorosis of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *J. Plant Nutrition* 17:1053-1065.

Pestana, M., P.J. Correia, A. de Varennes, J. Abadía, and E. A. Faria. 2001. Effectiveness of different foliar iron applications to control iron chlorosis in orange trees grown on calcareous soil. *J. Plant Nutrition* 24:613-622.

Pestana, M, A. de Varennes, and E.A. Faria. 2003. Diagnosis and correction of iron chlorosis in fruit trees: a review. *Food, Agri. And Envir.* 1:46-51.

Schmidt, W. 1999. Review: mechanisms and regulation of reduction-based iron uptake in plants. *New Phytol.* 141:1-26.

Tagliavini, M., J. Abadía, A.D. Rombolà, A.C. Tsipouridis and B. Marangoni. 2000. Agronomic means for the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees. *J. Plant Nutrition* 23:2007-2022.

Tagliavini, M., D. Scudellari, B. Marangoni and M. Toselli. 1995. Acid-spray regreening of kiwifruit leaves affected by lime-induced iron chlorosis. pp. 191-195. In: J. Abadía (ed.), *Iron Nutrition in Soils and Plants*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.

Taiz, L. and E. Zeiger. 1998a. Mineral nutrition. In: *Plant Physiology* (2nd Edition). Sinauer Assoc., Inc., Publishers, Sunderland, MA. P. 103-124.

Taiz, L. and E. Zeiger. 1998b. Assimilation of mineral nutrients. In: *Plant Physiology* (2nd Edition). Sinauer Assoc., Inc., Publishers, Sunderland, MA. P. 323-345.

Vera, R.R. 2003. Country pasture/forage resources profiles: Chile. FAO-AGL: Land and plant nutrition management service/ProSoil – Problem Soils Database. [Accessed 5-28-07 (<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/chile/cile.htm#2.%20SOILS%20AND>)].

Whiley, A.W. and B. Schaffer. 1994. Avocado. In: *Handbook of environmental physiology of fruit crops, Vol. II: sub-tropical and tropical crops*. B. Schaffer and P.C. Andersen, editors. CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla. p. 3-35.

Cuadro 1. Tratamientos de ácido foliar con hierro y hierro quelatado aplicado al suelo en árboles de aguacate 'Donnie'.

Tratamiento	Materiales aplicados	Método de aplicación	Fechas de aplicación
AS+Fe	Ácido sulfúrico (0.9 ml/l) + sulfato ferroso (2.5 g/l) + Freeway [®] (1.9 ml/l)	Foliar	Sept. 15, 2006 Sept. 28, 2006 Oct. 12, 2006
AC+Fe	Ácido cítrico (5.1 g) + sulfato ferroso (2.5 g/l) + Freeway [®] (1.9 ml/l)	Foliar	Oct. 26, 2006 Nov. 11, 2006 Nov. 22, 2006
AA+Fe	Ácido ascórbico (8.6 g/l) + sulfato ferroso (2.5 g/l) + Freeway [®] (1.9 ml/l)	Foliar	
AA alone	Ácido ascórbico (8.6 g/l) + Freeway [®] (1.9 g/l)	Foliar	
Aplicación de quelato al suelo (EDDHA-Fe)	nombre técnico es di-(o-hidroxifenilacetato) sódico férrico etilendiamina (92 g/árbol el 6 de feb., todas las otras fechas 56.7 g/árbol)	Chelated soil drench	Feb. 6, 2006 Sept. 15, 2006 Oct. 12, 2006 Nov. 9, 2006
Control (sin ácido ni hierro)	nada	nada	nada

^z El adyuvante Freeway[®] (Loveland Products, Inc., Greeley, Colorado, USA) fue aplicado en todos los tratamientos foliares.

Cuadro 2. Efecto de aplicaciones foliares de ácido con hierro, ácido, aplicación al suelo de quelatos ferroso en el contenido total de hierro ferroso en las hojas de aguacate 'Donnie'.

Tratamiento ^z	Contenido de Hierro (mg/kg peso seco)	
	Total	Ferroso ^y
AS+Fe	287.3a	27.0a
AC+Fe	188.8ab	22.0ab
AA+Fe	140.6bc	22.5ab
AA alone	58.2c	19.1bc
Quelato al suelo (EDDHA-Fe)	69.8c	12.43c
Control (sin ácido ni Fe)	63.5c	11.6c

^zAS+Fe=ácido sulfúrico+ sulfato ferroso; AC+ Fe=ácido cítrico+sulfato ferroso; AA+Fe =Ácido ascórbico+sulfato ferroso; AA= Ácido ascórbico; EDDHA-Fe=sodium ferric ethylenediamine di-(o-hydroxyphenylacetate) iron.

^yEl hierro ferroso fue calculado por la diferencia entre el contenido total de hierro en la hoja y el contenido de hierro férrico.

Cuadro 3. Comparación de costos entre aplicaciones foliares de ácido con hierro y el costo de aplicación de quelatos ferrosos al suelo (EDDHA-Fe).

Tratamiento	No. de aplicaciones	Material ^z costo por aplicación (\$)	Otro ^y costos por aplicación (\$)	Costo Total ^x (\$/ha)	Ahorro Potencial ^w (\$/ha)	Ahorro Potencial ^v (%)
AS + Fe	6	17.65	11.93	178	776	81
AC + Fe	6	20.49	11.93	195	759	80
AA + Fe	6	46.45	11.93	350	604	63
AA alone	6	45.99	11.93	348	606	64
Baño de quelato al suelo (EDDHA-Fe)	4	214.60	23.87	954	0	0

^zIncluye sólo los costos de productos químicos, asumiendo una densidad de 215 árboles por ha.

^yIncluye los costos de mano de obra y combustible para aplicar tratamientos, asumiendo una densidad de 215 árboles por ha.

^xLos costos totales que representa la suma de los materiales y otros costos multiplicados por el número de aplicaciones.

^wAhorro potencial (\$) calculado relativo al costo de aplicación de EDDHA-Fe.

^vAhorro potencial (%) representado en porcentaje de ahorro de dólares por el costo de aplicación de EDDHA-Fe.

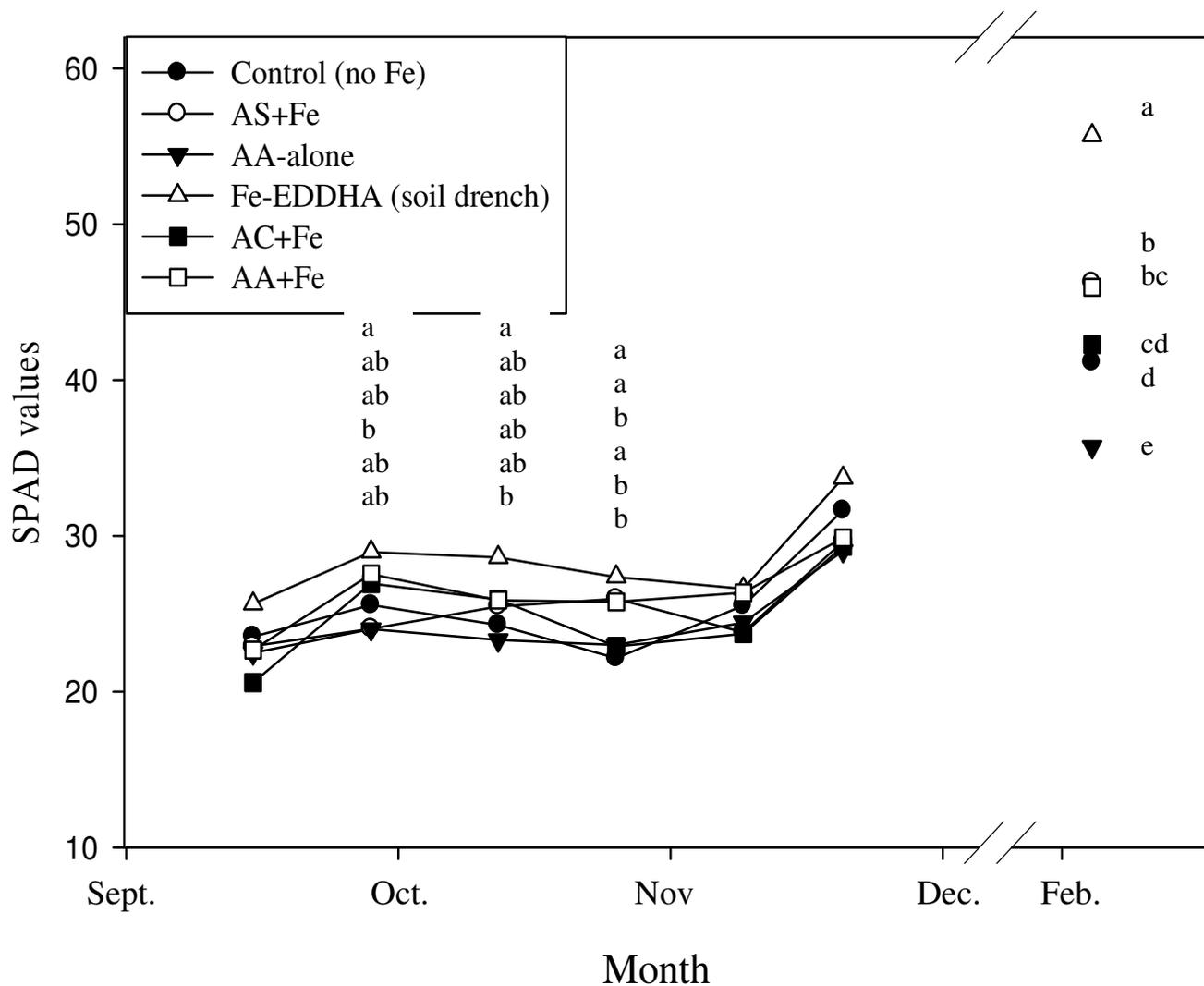


Figura. 1. Valores de SPAD registrados en 2 intervalos de la semana del 27 de octubre del 2006 al 20 de noviembre del 2006 y el 20 de febrero de 2007 para las hojas maduras de aguacates de 'Donnie'. Las letras indican diferencias significativas entre medias del tratamiento según una prueba múltiple de la gama de Duncan-Waller ($P < 0.05$ el 27 de sept. y 25 oct del 2006 y 20 feb del 2007; $P (0.10$ el 11 oct del 2006).