

Quelato EDDHA para corregir la deficiencia de hierro en árboles de limón italiano (*Citrus limon* (L.) Osbeck)

Chelate EDDHA to correct the iron deficiency in Italian lemon trees (*Citrus limon* (L.) Osbeck)

Juan Valentín Puente-Ramírez¹ , Patricio Rivera-Ortiz^{‡1} ,
José Hugo Silva-Espinosa¹  y Elizabeth Andrade-Limas¹ 

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Adolfo López Mateos s/n. 87149 Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

[‡] Autor para correspondencia (lida@docentes.uat.edu.mx)

RESUMEN

La citricultura es una de las actividades productivas más importantes en el estado de Tamaulipas, México. Sin embargo, en la mayoría de los huertos los rendimientos de estos frutales son bajos y frecuentemente de baja calidad debido a un bajo suministro de hierro (Fe) y otros micronutrientes, por las características calcáreas de los suelos tales como pH medianamente alcalino, alrededor de 8, y un contenido de carbonatos de calcio superior 40%, lo cual induce la precipitación del hierro en forma de óxidos e hidróxidos y por lo tanto baja disponibilidad de Fe para la planta. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del quelato FeEDDHA aplicado al suelo. Se utilizaron árboles de limón italiano (*Citrus limon* (L.) Osbeck) de 25 años, injertados sobre patrones de naranjo agrio, con síntomas visuales de deficiencia de hierro; amarillamiento severo y persistente de las hojas nuevas. Se evaluó la aplicación al suelo de dosis del quelato FeEDDHA correspondientes a 50, 100 y 150 g árbol⁻¹ y el control. Las aplicaciones del FeEDDHA al suelo, fueron realizadas con el propósito de determinar la dosis más apropiada del quelante para corregir la deficiencia de hierro en árboles de limón italiano bajo condiciones de suelos calcáreos de la zona centro del estado. La aplicación del quelato al suelo en dosis de entre 50 y 100 g árbol⁻¹ de FeEDDHA aumentó el índice SPAD en las hojas

y corrigió la deficiencia de Fe en los árboles, aumentó significativamente la concentración foliar de Fe hasta nivel óptimo (77 mg kg⁻¹ Fe), el rendimiento de fruto (40 Mg ha⁻¹) y el ingreso económico. La aplicación de una dosis mayor, 150 g árbol⁻¹ de FeEDDHA, no incrementó significativamente la asimilación de hierro y la producción de fruto en los árboles de limón italiano.

Palabras clave: cítricos, clorosis férrica, suelos calcáreos.

SUMMARY

Citriculture is one of the most important productive activities in the State of Tamaulipas, Mexico. However, in most orchards the yields of these fruit trees are low and frequently of poor quality due to a low supply of iron and other micronutrients. The calcareous characteristics of the soils such as a moderately alkaline pH –around 8– and a calcium carbonate content higher than 40% induce the precipitation of iron in the form of oxides and hydroxides, causing low availability of Fe for the plant. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of the FeEDDHA chelate applied to the soil. In our study we used 25-year-old Italian lemon trees (*Citrus limon* (L.) Osbeck) grafted on sour orange rootstocks, with visual symptoms of iron deficiency and severe and

Cita recomendada:

Puente-Ramírez, J. V., Rivera-Ortiz, P., Silva-Espinosa, J. H. y Andrade-Limas, E. (2022). Quelato EDDHA para corregir la deficiencia de hierro en árboles de limón italiano (*Citrus limon* (L.) Osbeck). *Terra Latinoamericana*, 40, 1-6. e926. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.926>

Recibido: 29 de junio de 2021. Aceptado: 03 de enero de 2022.
Artículo. Volumen 40, febrero de 2022.

persistent yellowing of new leaves. The application of different concentrations of FeEDDHA chelate (50, 100 and 150 g tree⁻¹) to the soil and the control treatment were evaluated. We applied FeEDDHA to the soil with the purpose of determining the most appropriate dose of the chelator to correct the iron deficiency in Italian lemon trees under calcareous soil conditions of the Central zone of the State. The application of the chelate to the soil in doses between 50 and 100 g tree⁻¹ of FeEDDHA increased the SPAD index in the leaves, corrected the Fe deficiency in the trees, and significantly increased the foliar concentration of Fe to an optimal level (77 mg kg⁻¹ Fe), the fruit yield (40 Mg ha⁻¹) and the economic income. In addition, the application of a higher dose, 150 g tree⁻¹ of FeEDDHA, did not significantly increase iron assimilation and fruit production in Italian lemon trees.

Index words: *citrus, ferric chlorosis, calcareous soils.*

INTRODUCCIÓN

La citricultura es una de las actividades productivas más importantes del estado de Tamaulipas, México. En la zona centro de esta región se tiene una superficie de más de 40 000 ha de diversas variedades de cítricos. Sin embargo, en la mayoría de los huertos los rendimientos de estos frutales son bajos y frecuentemente de baja calidad. Una de las principales causas de esta problemática es un bajo suministro de hierro (Lucena, 2000) provocado por las características calcáreas de los suelos (Jeong y Connolly, 2009); pH medianamente alcalino (alrededor de 8) y un contenido de carbonatos de calcio superior 40% lo cual induce la precipitación del hierro en forma de óxidos e hidróxidos (Mortvedt, Giordano y Lindsay, 1972). De esta manera el micronutriente nativo o aplicado, se transforma en compuestos no disponibles para las plantas (Godsey *et al.*, 2003). Por lo anterior es frecuente observar en los cítricos de la zona síntomas visuales de deficiencia de este microelemento que se manifiestan como amarillamiento o clorosis de las hojas nuevas. Se estima que, el 40% de los árboles de la región presentan una concentración baja o deficiente de hierro, siendo el limón italiano una de las especies más afectadas. La deficiencia de hierro influye también en el crecimiento de la planta y disminuye el rendimiento y calidad del fruto, causando importantes pérdidas económicas (Briat, Dubos y Gaymard, 2015). Este desorden

nutricional es consecuencia de la baja disponibilidad de hierro en los suelos alcalinos y de deficiencias en los mecanismos de absorción, transporte y asimilación del hierro dentro de la planta, dando como resultado una alteración del metabolismo del cultivo (Lucena y Hernández, 2017).

En estas circunstancias el hierro requiere ser aplicado al suelo en forma de quelato para lograr su asimilación por la planta (Lucena, 2009). Los quelatos son compuestos de alta estabilidad, capaces de mantener los iones metálicos rodeados por una molécula orgánica (agente quelante) de modo que queden salvaguardados del entorno que favorecería su precipitación en forma de hidróxido insoluble y no disponible para la planta (Lucena, 2006). Sin embargo, no cualquier quelato produce resultados satisfactorios. La manera más efectiva y rápida para corregir la deficiencia de hierro y resolver este problema nutricional de los cítricos establecidos en suelos calcáreos es mediante la aplicación del micronutriente en forma de quelato FeEDDHA al suelo (Razetoa, 1982; Álvarez-Fernandez, García y Lucen, 2005). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del quelato FeEDDHA (etilendiaminodihidroxifenilacetato de hierro) aplicado al suelo, sobre la concentración foliar de hierro, la corrección de la deficiencia de hierro, el rendimiento de fruto y el beneficio económico del quelato en árboles de limón italiano (*C. limon*) plantados en suelos calcáreos de la zona centro del estado de Tamaulipas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en un huerto de limón italiano cultivado en un suelo calcáreo con pH medianamente alcalino, 8.0; nivel bajo de hierro, 2.7 mg kg⁻¹ Fe, de acuerdo a la Norma NOM-021-RECNAT-2000, AS-14 (SEMARNAT, 2002) y contenido alto de carbonatos de calcio, más de 40% según la Norma NOM-021-RECNAT-2000, AS-30 (SEMARNAT, 2002). El sitio está ubicado en el municipio de Victoria. Se utilizaron árboles de 25 años, establecidos en un marco de plantación de 8×4 m (312 árboles ha⁻¹) injertados sobre patrones de naranjo agrio y con síntomas visuales de deficiencia de hierro; amarillamiento severo y persistente de las hojas nuevas. Para el riego del huerto, se utilizó el sistema de microaspersión. Se seleccionaron 20 árboles con características semejantes en cuanto

a tamaño, porte y síntomas visuales de deficiencia de hierro. Después de un mes de iniciada la brotación de primavera, los árboles fueron tratados, a través del suelo, con el quelato FeEDDHA marca Lida, en dosis de 50, 100 y 150 g árbol⁻¹ y se incluyeron en el estudio árboles control. Cada tratamiento se aplicó a 5 árboles de manera aleatoria a través de un diseño de bloques completamente al azar de 4 tratamientos y 5 repeticiones, siendo cada árbol una unidad experimental. Para la aplicación del quelato, se cavó una zanja de 10 cm de profundidad en la periferia del área sombreada de los árboles. En la misma cavidad se agregaron 250 g árbol⁻¹ de urea, de manera adicional a la fertilización nitrogenada anual que se utiliza en el huerto. La dosis total de fertilización nitrogenada en el año del estudio fue de 106 kg ha⁻¹ de N, sin agregar ningún otro fertilizante. Después de adicionar el quelato y la urea dentro de la zanja, ambos fertilizantes se cubrieron con el suelo extraído y luego se aplicó el riego. Como parte del manejo general del huerto se aplicaron de manera oportuna los agroquímicos necesarios para el control de plagas y enfermedades, por lo que no se presentó ninguna infestación que afectara el crecimiento y producción de los cítricos.

La respuesta de los árboles se comenzó a evaluar desde el inicio del estudio y hasta los 40 días después de la aplicación del quelato al suelo. Para ello se realizó la medición de clorofila en hojas con síntomas característicos de la deficiencia de hierro por medio del índice SPAD, determinado con un equipo portátil llamado Chlorophyll meter marca Minolta-502. Se seleccionaron y marcaron cuatro hojas por árbol antes de aplicar el quelato a fin de medir en ellas los valores SPAD y obtener posteriormente el promedio de lecturas de cada árbol, desde el momento de la aplicación del quelato. El efecto de las dosis se evaluó también por medio de un muestreo y análisis foliar, cinco meses después de la aplicación del quelato. Se tomaron hojas de seis meses de edad, de ramas sin fruto, en los cuatro puntos cardinales del árbol, a una altura de entre 1 a 2 m. Después de su preparación, la muestra se digirió con HNO₃ en un horno de microondas marca CEM, modelo Mars 6 (Silva, 2012) y se midió la concentración de hierro total con un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer. Finalmente, después de ocho meses de la aplicación del quelato al suelo se midió el rendimiento en cada árbol estudiado a fin de determinar el efecto de los tratamientos de FeEDDHA en la producción

de fruto. Los datos obtenidos del contenido de clorofila en las hojas, concentración foliar de hierro y rendimiento de fruto se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) a fin de determinar el efecto del quelato FeEDDHA en los árboles. Los resultados se presentan en forma de graficas de barras que muestran el promedio y el rango de error estándar de cada variable de respuesta. También se llevó a cabo un análisis económico con base en el rendimiento de fruto obtenido a fin de determinar la factibilidad de utilizar esta práctica agrícola en la producción de limón italiano en la región.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de clorofila en las hojas de los árboles se muestra en la Figura 1. Como se puede observar, el valor de estas lecturas fue muy bajo, entre 16 y 21, al momento de la aplicación del quelato FeEDDHA al suelo. Estas lecturas corresponden a un color

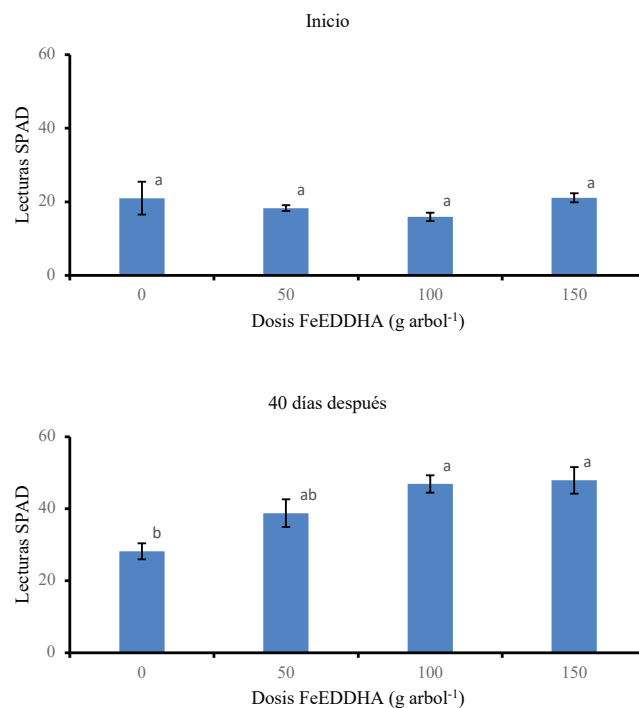


Figura 1. Lecturas SPAD en hojas de árboles de limón italiano, al inicio del estudio y 40 días después de haber sido tratados con FeEDDHA al suelo.

Figure 1. SPAD readings in leaves of Italian lemon trees, at the beginning of the study and 40 days after the soil treatments with FeEDDHA.

amarillento de las hojas, propio de la sintomatología de deficiencia del micronutriente en los cítricos y otros cultivos. En contraste, se observó que los árboles tratados con el quelato comenzaron a reverdecer desde los primeros 15 días, a partir de la aplicación del quelato al suelo y tras un periodo de 40 días las lecturas SPAD de las hojas aumentaron significativamente (hasta 39 y 47 respectivamente) con las dosis 50 y 100 g árbol⁻¹ FeEDDHA, en comparación con los árboles control. Estos valores SPAD corresponden a un color verde de tono intenso, característico de hojas sanas con un contenido normal de clorofila (Uddling, Gelang, Piikki y Pleijel, 2007). De manera semejante en un estudio realizado con árboles de naranjo valencia crecidos en suelos calcáreos la aplicación de FeEDDHA al suelo en dosis de 75 g árbol⁻¹ incrementó el contenido de clorofila hasta un nivel óptimo (Rajaie y Tavakoly, 2018). De manera semejante la adición de FeEDDHA al suelo eliminó por completo la deficiencia de hierro en árboles de durazno y uva ya que con la aplicación de este quelato las hojas reverdecieron por completo (Reed, Lyons y Ray, 1988).

Lo anterior muestra que la aplicación del quelato al suelo corrigió la deficiencia de Fe de los árboles de limón italiano. El índice SPAD indica que el rango suficiente de aplicación del quelato al suelo para corregir la deficiencia del micronutriente en árboles de cítricos, establecidos en suelos calcáreos, es de entre 50 y 100 g árbol⁻¹ de FeEDDHA (Razetoa, 1982).

En la Figura 2 se presenta el contenido de hierro total en hojas de árboles de limón italiano tratados con diversas dosis de quelato FeEDDHA aplicado al suelo.

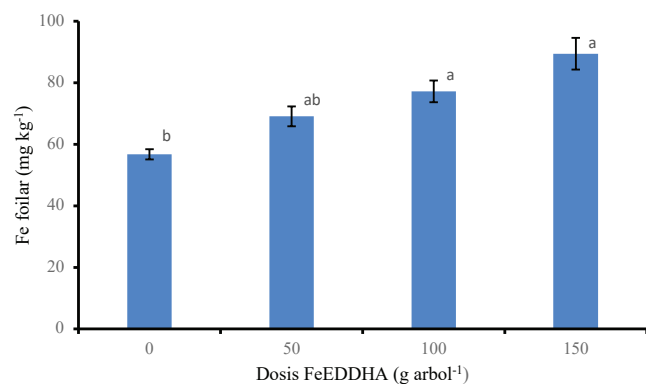


Figura 2. Concentración foliar de hierro en árboles de limón italiano bajo tratamientos de suelo con FeEDDHA.

Figure 2. Foliar iron concentration in Italian lemon trees under soil treatments with FeEDDHA.

Estos árboles mostraban inicialmente síntomas visuales de deficiencia de este micronutriente o clorosis férrica, es decir un amarillamiento severo y persistente de las hojas nuevas debido a las condiciones calcáreas del suelo y al bajo contenido de Fe disponible para los árboles. Como se puede observar (Figura 2) los árboles control presentaron una baja concentración de Fe (58 mg kg⁻¹) mientras que los que recibieron las dosis de 50 y 100 g árbol⁻¹ de FeEDDHA, cinco meses atrás, aumentaron significativamente la concentración foliar de Fe hasta niveles óptimos 69 y 77 mg kg⁻¹ Fe respectivamente (Emblenton, Jones, Labanauskas y Reuther, 1973). En los árboles tratados con la dosis de 150 g árbol⁻¹ de FeEDDHA, aunque el contenido de Fe foliar aumentó ligeramente (89.4 mg kg⁻¹ Fe) el incremento no fue significativo en comparación con el contenido foliar de hierro de los árboles adicionados con 100 g árbol⁻¹ de FeEDDHA. Resultados similares encontraron Rajaie y Tavakoly (2018) quienes señalan que la aplicación de FeEDDHA al suelo en dosis de 75 g árbol⁻¹ incrementó la concentración de hierro en las hojas de árboles de naranjo valencia crecidos en suelos calcáreos. Lo anterior sugiere que bastaría con aplicar una dosis de entre 50 y 100 g árbol⁻¹ FeEDDHA al suelo para corregir la deficiencia de hierro en árboles de limón italiano plantados en suelos calcáreos.

El rendimiento de fruto en los árboles de limón italiano aumentó significativamente con la aplicación de FeEDDHA al suelo (Figura 3). En los árboles sin tratar con FeEDDHA la producción de fruto fue de casi 20 Mg ha⁻¹ mientras que con la aplicación de 50 g árbol⁻¹ de FeEDDHA el rendimiento se incrementó a casi

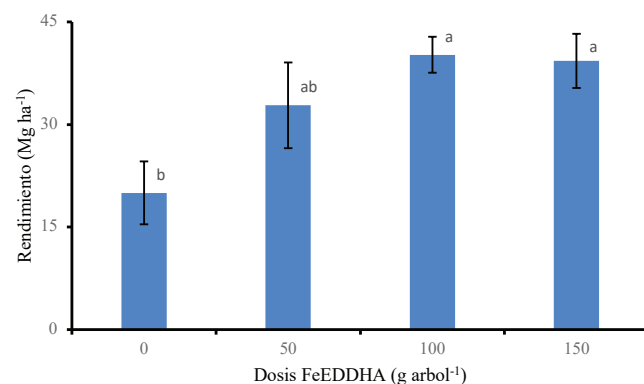


Figura 3. Rendimiento de fruto en árboles de limón italiano cultivados bajo tratamientos de suelo con FeEDDHA.

Figure 3. Fruit yield in Italian lemon trees cultured under soil treatments with FeEDDHA.

33 Mg ha⁻¹; con la dosis de 100 g árbol⁻¹ la producción llegó a más de 40 Mg ha⁻¹, el doble del rendimiento obtenido en los árboles sin tratar. El aumento de la dosis de quelato de 100 a 150 g árbol⁻¹ de FeEDDHA no incrementó significativamente la producción de fruta ya que el rendimiento fue casi igual que cuando se aplicaron 100 g árbol⁻¹ de FeEDDHA. Estos resultados indican que la aplicación de FeEDDHA al suelo corrigió la clorosis férrica de los árboles de limón italiano y aumentó la producción de fruto cuando se adicionaron dosis del quelato entre 50 y 100 g árbol⁻¹; la aplicación de una dosis mayor no incrementó significativamente la producción por lo que sería innecesario agregar cantidades superiores a 100 g árbol⁻¹ de FeEDDHA.

Análisis Económico

En el Cuadro 1 se presentan el rendimiento de fruta e ingreso económico obtenidos de árboles de limón italiano que fueron tratados con quelato FeEDDHA en dosis de 0, 50, 100 y 150 g árbol⁻¹, equivalentes a 0, 15.6, 31.2, y 46.9 kg ha⁻¹ de quelato. Como se puede observar, el rendimiento de fruto alcanzado en árboles sin tratar fue de 20 Mg ha⁻¹, equivalente a un ingreso de \$200 000 pesos ha⁻¹ mientras que en los árboles adicionados con la dosis de 100 g árbol⁻¹ de FeEDDHA (31.2 kg ha⁻¹) se duplicó la producción y ganancia económica en 40.2 Mg ha⁻¹ de fruto y \$400 000 pesos ha⁻¹ de ingreso, respectivamente. Con base en lo anterior se puede decir que el beneficio económico generado por la aplicación de quelato FeEDDHA a suelos calcáreos fue muy alto y que por lo tanto la aplicación de este quelato a árboles de limón italiano deficientes en hierro es económicamente viable.

CONCLUSIONES

La aplicación de quelato FeEDDHA al suelo en dosis de entre 50 y 100 g árbol⁻¹ de FeEDDHA (15.6 y 31.2 kg ha⁻¹) para mejorar la nutrición de hierro en árboles de limón italiano (*C. limon*) plantados en suelos calcáreos, corrigió completamente los síntomas de deficiencia del micronutriente o clorosis férrica e incrementó significativamente el rendimiento de fruto y el ingreso económico en la zona centro del estado de Tamaulipas, México.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

No aplicable.

Cuadro 1. Ingreso económico generado por la aplicación de FeEDDHA a árboles de limón italiano cultivados en suelos calcáreos.
Table 1. Economic income generated by the application of FeEDDHA to Italian lemon trees cultured in calcareous soils.

Dosis FeEDDHA g árbol ⁻¹	Dosis FeEDDHA kg ha ⁻¹	Costo de FeEDDHA - - - - - pesos ha ⁻¹	Costo de aplicación - - - - -	Rendimiento de fruto Mg ha ⁻¹	Ingreso bruto - - - - - pesos ha ⁻¹	Ingreso neto - - - - -
0	0	0	0	20	200 000	200 000
50	15.6	3120	2496	32.8	328 000	322 384
100	31.2	6240	2496	40.2	402 000	393 264
150	46.9	9360	2496	39.3	393 000	381 144

*Costo del quelato FeEDDHA: \$200 pesos kg⁻¹, en el momento del estudio. **Precio del fruto: \$10 000 pesos Mg⁻¹, en el momento del estudio.

*FeEDDHA chelate cost: \$200 pesos kg⁻¹, at study time. ** Fruit price: \$10 000 pesos Mg⁻¹, at study time.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Trabajo de campo y laboratorio, investigación y escritura: J.V.P.R. Conceptualización, proyecto, revisión y supervisión: P.R.O. Revisión, edición y análisis económico. J.H.S.E. y E.A.L.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al propietario de la huerta Las Palmas, en el municipio de Victoria, Tamaulipas, por permitir realizar la experimentación en sus árboles de limón italiano. Así mismo agradecen a la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas por las facilidades otorgadas en sus laboratorios e instalaciones para realizar esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Fernández, A., García-Marco, S., & Lucena, J. J. (2005). Evaluation of synthetic iron (III)-chelates (EDDHA/Fe³⁺, EDDHMA/Fe³⁺ and the novel EDDHSA/Fe³⁺) to correct iron chlorosis. *European Journal of Agronomy*, 22(2), 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.02.001>
- Briat, J. F., Dubos, C., & Gaymard, F. (2015). Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. *Trends in Plant Science*, 20(1), 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.07.005>
- Emblenton, T. W., Jones, W. W., Labanauskas, C. K., & Reuther, W. (1973). Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization. In W. Reuther (Ed.). *The citrus industry* (pp. 183-210). Berkeley, CA, USA: University of California.
- Godsey, C. B., Schmidt, J. P., Schlegel, A. J., Taylor, R. K., Thompson, C. R., & Gehl, R. J. (2003). Correcting iron deficiency in corn with seed row-applied iron sulfate. *Agronomy Journal*, 95(1), 160-166. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.1600>
- Jeong, J., & Connolly, E. L. (2009). Iron uptake mechanisms in plants: functions of the FRO family of ferric reductases. *Plant Science*, 176(6), 709-714. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.02.011>
- Lucena, J. J. (2000). Effect of bicarbonate, nitrate, and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review. *Journal of Plant Nutrition*, 23, 1591-1606. <https://doi.org/10.1080/01904160009382126>
- Lucena, J. J. (2006). Iron fertilizers in correcting iron deficiencies in plants. In L. L. Barton, & J. Abadía (Eds.). *Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganism* (pp. 103-127). Dordrecht: Springer-Verlag Academic Publishers.
- Lucena, J. J. (2009). El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Revista Ceres*, 56(4), 527-535.
- Lucena, J. J., & Hernandez-Apaolaza, L. (2017). Iron nutrition in plants: an overview. *Plant and Soil*, 418(1), 1-4. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3316-8>
- Mortvedt, J. J., Giordano, P. M., & Lindsay, W. L. (1972). *Micronutrients in agriculture*. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America.
- Rajaie, M., & Tavakoly, A. R. (2018). Iron and/or acid foliar spray versus soil application of Fe-EDDHA for prevention of iron deficiency in Valencia orange grown on a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 41(2), 150-158. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1382523>
- Razetoa, B. (1982). Treatments for iron chlorosis in peach trees. *Iron Nutrition and Interactions in Plants*, 5(4-7), 917-922. <https://doi.org/10.1080/01904168209363021>
- Reed, W. D., Lyons, G. C., & Ray, M. G. (1988). Field evaluation of inorganic and chelated iron fertilizers as foliar sprays and soil application. *Journal of Plant Nutrition*, 11(6-11), 1369-1378. <https://doi.org/10.1080/01904168809363894>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 antes NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. D. F.: SEGOB.
- Silva-Trejos, P. (2012). Digestión en horno de microondas para determinación de contenido de hierro y zinc totales en alimentos. *Revista Tecnología en Marcha*, 25(3), 96-100. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i3.461>
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., & Pleijel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research*, 91, 37-46. <https://doi.org/10.1007/s11120-006-9077-5>