

Alteraciones producidas en el maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) por deficiencias de manganeso, hierro, boro y zinc.*

ALEJANDRO MORALES ABANTO**, LUDWIG E MÜLLER***

ABSTRACT

After growing passion flower plants (Passiflora edulis Sims) for several months in nutrient solutions lacking the elements manganese, iron, boron and zinc, the resulting physiological and morphological-anatomical alterations were observed.

Manganese deficiency manifested itself by rough mottling of the youngest leaves which later turned yellow.

Lack of iron caused the typical fine reticulation of the dark-green veinal network against the chlorotic mesophyll of the youngest leaves, as found in many plants. In advanced stages the affected leaves turned whitish, with the chlorosis coinciding with a reduction of the number of chloroplasts in the affected cells.

Omission of boron caused alteration of the shoot apices, with the terminal bud subject to necrosis, thus reducing overall growth of the plants. At the same time the youngest leaves became chlorotic and the cambial cells deformed and disrupted.

When zinc was limiting, the youngest leaves were smaller than normal, undulated, deformed, with small necrotic spots and later yellowing of the parenchyma.

Introducción

LA planta necesita para completar su ciclo de vida cierto número de elementos minerales, denominados por esa razón esenciales. Si la concentración de uno de ellos está por debajo de la normal, ocurren trastornos que se manifiestan en forma de síntomas visibles característicos.

En el presente trabajo se han provocado artificialmente mediante cultivo en soluciones nutritivas carentes, tales síntomas para cuatro micronutrientes, manganeso, hierro, boro y zinc, en plantas de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims).

Revisión de literatura

Los llamados micronutrientes, o sea aquellos elementos esenciales que la planta necesita apenas en cantidades muy pequeñas, ejercen, sin embargo, funciones

sumamente importantes en el metabolismo celular, especialmente en forma de constituyentes o activadores de enzimas. Su falta afectará, por eso, principalmente reacciones enzimáticas con variadas consecuencias fisiológicas y también morfológico anatómicas.

El manganeso, a pesar de no formar constituyente, ni de la molécula de la clorofila ni de sus precursores, tiene una función importante en su síntesis y estabilidad en los cloroplastos. Por eso, síntomas de una deficiencia se manifiestan, generalmente, en las hojas jóvenes, en forma de una clorosis (5, 6, 27). Al comienzo, cuando la falta todavía no es muy aguda, esta clorosis se presenta normalmente en forma de una reticulación gruesa debido a que la mayor parte de la nervadura y franjas angostas a cada lado de los nervios, permanecen verdes, contrastando con el color amarillo-pálido del mesofilo (5, 6, 7, 8, 9, 11, 17, 18, 19, 27). En estados más avanzados, un amarillamiento uniforme y manchas necróticas substituyen frecuentemente la reticulación (5, 6, 8, 9, 17, 18, 27). Además de la pérdida de los pigmentos verdes, dependiendo de la especie, puede haber también deformaciones y necrosis foliar (5, 6, 8, 9, 17), defoliación prematura (11) y alteraciones del mesofilo (1, 9, 28).

* Recibido para su publicación el 22 de noviembre de 1976.

** Profesor Principal del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Técnica de Piura, Perú.

*** Fitofisiólogo Principal del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-OEA.
Dirección actual: Caixa Postal 1153; 90 000 Porto Alegre, RS; Brasil.

Los síntomas de la deficiencia de hierro son muy similares en casi todas las especies vegetales. Primeramente las hojas jóvenes muestran una clorosis intervenal típica, con toda la nervadura verde sobre un fondo amarillento. Al acentuarse la carencia, las hojas pueden tornarse blancuzcas, incluyendo los nervios (5, 6, 7, 8, 11, 14, 18, 27, 28).

Boro es el microelemento con el menor margen entre concentraciones deficiente y tóxica. Debido a que este elemento es esencial para la mitosis, su falta se manifiesta normalmente en las regiones meristemáticas por crecimiento retardado y muerte de las yemas terminales (5, 6, 7, 8, 18, 24, 27, 28). Al morir las yemas apicales, se puede producir una proliferación de yemas axilares en un mismo nudo (18, 24, 28). Igual que el tallo, las hojas jóvenes también sufren deformaciones, ya que la deficiencia altera el desarrollo de los tejidos del mesofilo y a veces vascular (7, 8, 18, 19, 28).

La falta de zinc afecta mayormente la parte terminal de las plantas, debido a su importancia en el alargamiento celular y en parte en la multiplicación celular. Por la reducción del tamaño de las células, y con esto de los internodios, los brotes adquieren la forma típica de una "roseta" (2, 3, 4, 12, 18, 22, 23). Las hojas jóvenes, además de cloróticas, son deformadas, a veces lateralmente retorcidas "sickle leaf" y más pequeñas que normalmente.

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en los invernaderos y laboratorios de Fisiología Vegetal del Centro de Enseñanza e Investigación del IICA, en Turrialba, Costa Rica.

Para inducir las deficiencias, se cultivaron las plantas de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) en soluciones nutritivas deficientes en los elementos estudiados, siendo los tratamientos los siguientes: T (testigo, solución completa), -Mn, -Fe, y -Zn, con cuatro repeticiones y distribución al azar de los frascos. Los detalles de la técnica ya fueron publicados anteriormente (16). Los síntomas se compararon con las características de las plantas testigo (T), descritas previamente (15).

Resultados y discusión

A continuación se describen los síntomas visibles y alteraciones anatómicas observadas en las plantas de maracuyá, deficientes en manganeso, hierro, boro y zinc.

Planta deficiente en manganeso

Síntomas visibles. Los síntomas se iniciaron a los 120 días en las hojas superiores, en forma de manchas cloróticas en las áreas intervenales lo que resultó en un aspecto moteado, ya que los nervios, junto con una delgada franja de parénquima a cada lado, permanecieron verdes (Fig. 1). Al agudizarse la deficiencia, las hojas se tornaron uniformemente amarillas, apareciendo



Fig. 1.—Síntomas visibles de deficiencia de manganeso.

luego puntos blanquecinos y necróticos. Posteriormente se produjo un encurvamiento de los bordes de las hojas hacia abajo.

Estos resultados fueron similares a los descritos para otras especies (5, 6, 7, 8, 9, 11, 18, 19, 27), con la diferencia de que en maracuyá no se produjo defoliación prematura y la clorosis no avanzó a las hojas del tercio inferior, como sucedió en algunas especies, debido a la acumulación previa de manganeso en estas hojas durante la permanencia de las plantas en solución completa.

Los zarcillos jóvenes presentaron ciertas deformaciones y necrosis en su parte media, lo que posiblemente dio lugar a desenrollamientos. Como consecuencia de estas alteraciones, dichos órganos tenían el aspecto de estar estirados.

Alteraciones anatómicas. Las raíces, tallos y zarcillos no mostraron ninguna alteración anatómica visible. Estos resultados contrastaron con los encontrados por Eltinge (9) en tallos de tomate, deficientes en manganeso, que tenían menos xilema y muchos vasos aparecieron taponados con material coagulado. Similarmente, en brotes de manzano (20), la deficiencia afectó el buen desarrollo de los tejidos corticales y vasculares.

Las observaciones realizadas en las áreas cloróticas de hojas mostraron algunas células en empalizada deformadas, con los cloroplastos reunidos en forma desordenada (Fig. 2); las células esponjosas sufrieron menos alteraciones. Estas observaciones difieren de los descritos por Haas (11) en hojas de cítricos, quien encontró desintegración de las células del mesofilo. Pero las observaciones coinciden con las descritas por Eltinge (9) y West y Harris (28) en hojas de tomate.

Planta deficiente en hierro

Síntomas visibles. La deficiencia de hierro se manifestó a los 150 días con una clorosis intervenal en las hojas jóvenes, permaneciendo solamente la nerva-

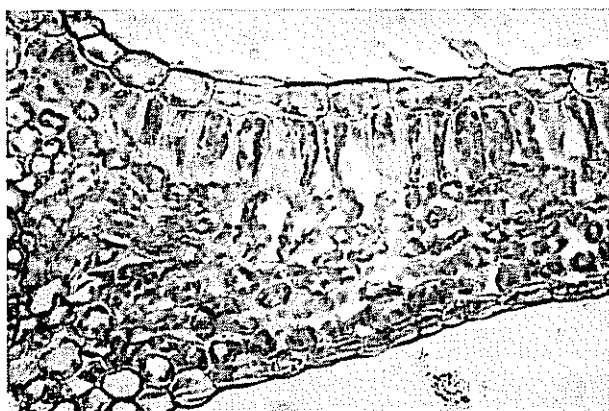


Fig. 2—Alteraciones anatómicas en hojas deficientes en boro.

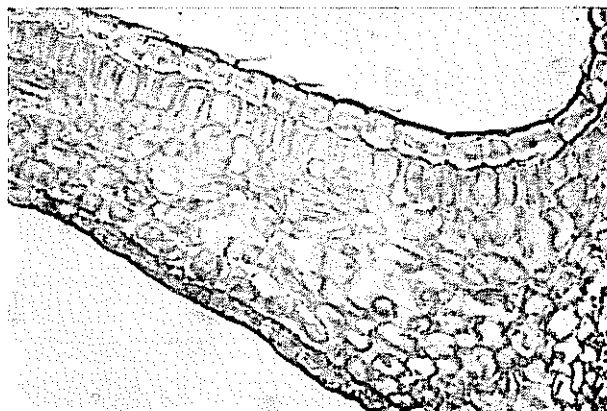


Fig. 4—Alteraciones anatómicas en hojas deficientes en boro.

dura de color verde oscuro, lo que dio un aspecto finamente reticulado. Al agudizarse la deficiencia, la clorosis afectó también a las hojas de los brotes del tercio medio de la planta, mientras que las hojas tiernas se tornaron blanquecinas, incluyendo las nervaduras (Fig. 3).

Estos síntomas coinciden plenamente con los encontrados en muchas otras especies afectadas por la misma deficiencia (5, 6, 7, 8, 11, 14, 18, 27, 28).

Alteraciones anatómicas Cortes transversales realizados en raíces, tallos y zarcillos no mostraron ninguna alteración anatómica.

En hojas deficientes, el parénquima en empalizada estaba poco desarrollado, con células cortas, mientras que el parénquima esponjoso fue más compacto (Fig. 4). En todo el mesofilo habían muy pocos cloroplastos, de tamaño reducido, y replegados a la parte periférica de las células clorenquimáticas, en comparación con el testigo (15).

Estas alteraciones coinciden con las encontradas en hojas de tomate y espinaca (26), así como en guisantes (28).



Fig. 3—Síntomas visibles de deficiencia de boro.

Planta deficiente en boro

Síntomas visibles A los 120 días de omitir el boro de la solución nutritiva, la yema terminal de los tallos comenzó a sufrir atrofia y después necrosis, lo que dio lugar a un estancamiento en el desarrollo de la planta (Fig. 5). Las hojas jóvenes crecieron



Fig. 5—Síntomas visibles de deficiencia de boro.

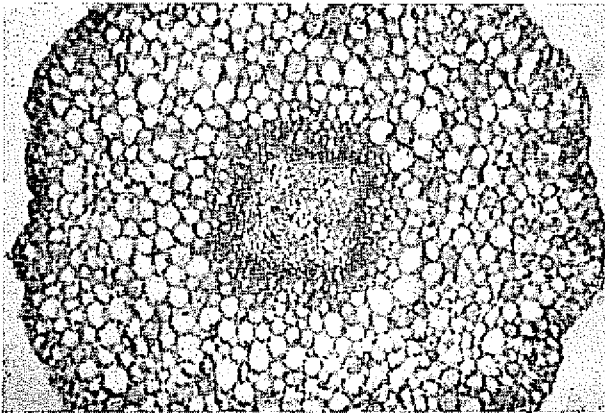


Fig. 6—Alteraciones anatómicas en raíces deficientes en boro

poco y mostraron clorosis, al mismo tiempo que una consistencia coriácea y ondulaciones en sus bordes

Estos síntomas se parecieron a los descritos para otras tantas especies (5, 6, 7, 8, 18, 24, 27, 28). Pero en maracuyá no se produjo proliferación de yemas axilares ni agrietamientos de tallos y peciolo, como se reportó en otras plantas (24, 28), lo que se debía probablemente a la falta de tiempo después de omitir el elemento de la solución nutritiva

Alteraciones anatómicas En raíces jóvenes se observó destrucción de los elementos del floema y necrosis aparente en las células endodérmicas y del periciclo (Fig. 6).

Cortes realizados en los tercios inferior, medio y superior de tallos afectados revelaron deformaciones en muchas células cambiales e interrupción del cambium interfascicular en algunas zonas. Estas alteraciones del cambium probablemente dieron lugar a una reducción del crecimiento en grosor, ya que la cantidad de tejido vascular fue bastante reducida. También se redujo el xilema, cuyos vasos tenían un diámetro menor en comparación con una planta normal (15). Además, se notó una fuerte acumulación de almidón en los parénquimas cortical, xilemático y medular (Fig. 7), lo

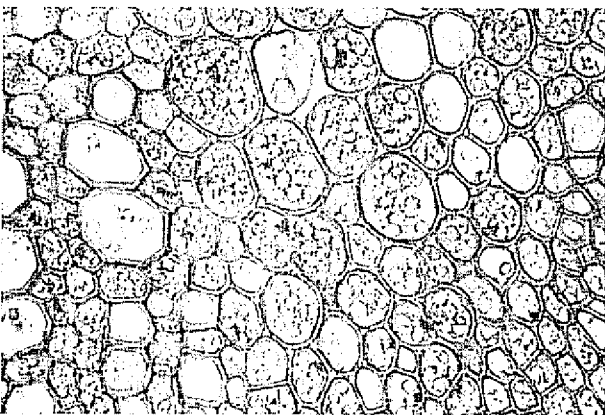


Fig. 7—Alteraciones anatómicas en tallos deficientes en boro

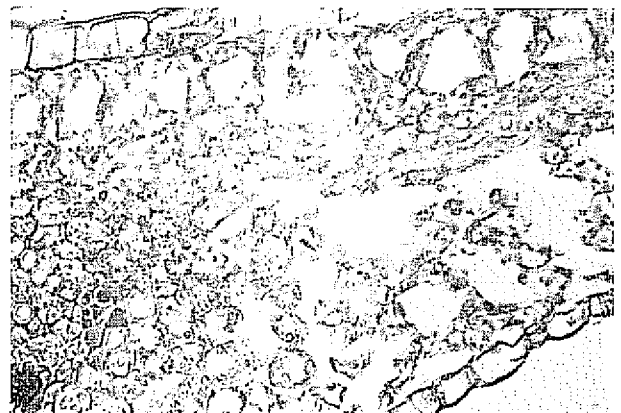


Fig. 8—Alteraciones anatómicas en hojas deficientes en boro

que apoya la hipótesis de Gauch y Dugger (10): al existir deficiencia de boro en los tejidos no se forman los complejos azúcar-borato o la asociación del borato con la membrana celular, que facilitaría el pasaje de azúcares de una célula a otra; al ser afectado el traslado de los glúcidos, estos se depositan entonces en forma de granos de almidón. Estas alteraciones fueron bastante similares a las descritas para tallos de tomate y algodón (21), con la diferencia de que en maracuyá no se observaron en la médula células necróticas.

Las células en empalizada de las hojas afectadas mostraron fuerte deformación, dando la apariencia de estar casi destruidas (Fig. 8). Las células del parénquima esponjoso correspondiente eran más largas, al comparárlas con una planta normal (15). En las epidermis aparecieron algunas células muertas, llenas de material granular. Los cloroplastos estaban agrupados cerca de la pared, especialmente en las células en empalizada. En el floema y parénquima de los haces foliares se observó también acumulación de almidón.

Estas anomalías anatómicas difieren en algunos aspectos con los descritos para melocotón (13), tomate y algodón (21), pues en estas especies no se registraron células muertas en las epidermis, ni acumulación del almidón.

Planta deficiente en zinc

Síntomas visibles. Los primeros síntomas se notaron a los 150 días en las hojas superiores y en algunas del tercio medio de las plantas, en forma de pequeñas manchas necróticas de aspecto blancuzco, rodeadas de un halo amarillento (Fig. 9), mientras que las hojas inferiores permanecieron normales. Al intensificarse la deficiencia, las hojas superiores se tornaron amarillas, mostrando todavía las manchas necróticas; a lo largo de los nervios permanecieron delgadas franjas de parénquima de color verde oscuro. Los bordes eran ligeramente ondulados. En las hojas más tiernas, donde la deficiencia fue más severa, estas ondulaciones aparecieron en toda la lámina, la que además quedó más pequeña que la normal, con sus lóbulos delgados y puntiagudos; habían muchas hojas con deformaciones.

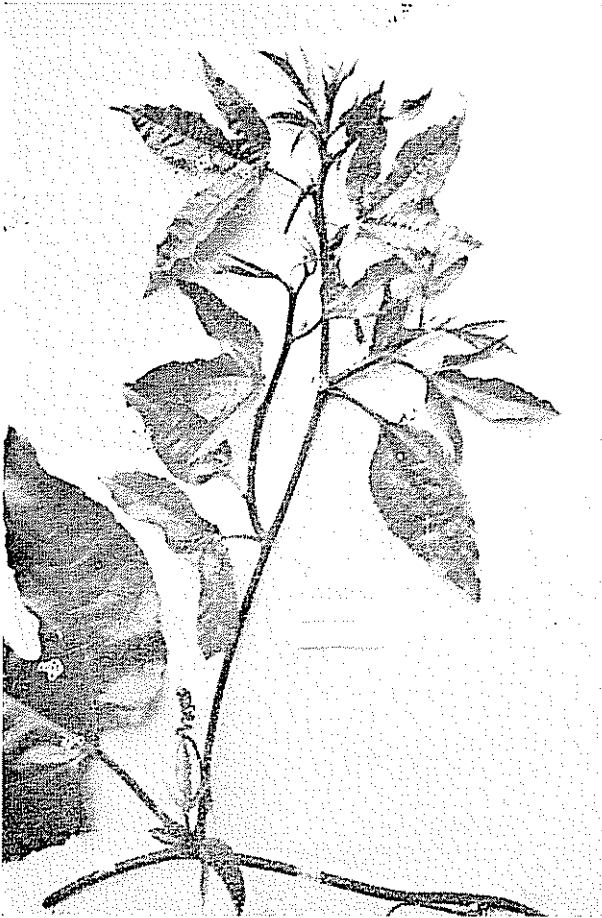


Fig. 9 — Síntomas visibles de deficiencia de zinc

En los brotes terminales hubo acortamiento de los entrenudos, lo que dio lugar a la formación de la típica 'roseta'

Estos síntomas visibles coincidieron plenamente con los descritos para otras especies (2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 22, 23, 27, 28)



Fig. 10 — Alteraciones anatómicas en tallos deficientes en zinc

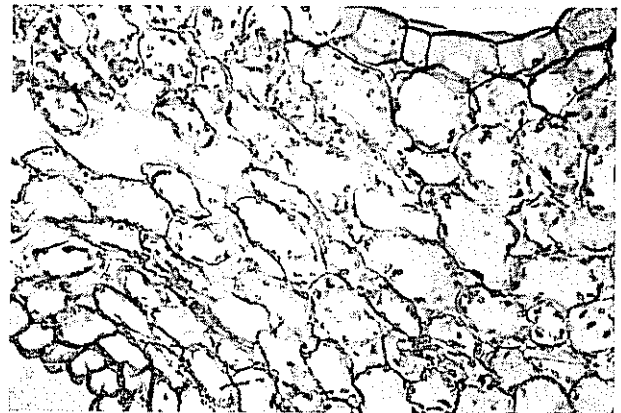


Fig. 11 — Alteraciones anatómicas en hojas deficientes en zinc.

Alteraciones anatómicas. En cortes realizados a lo largo de todo el tallo se observaron algunas deformaciones de las células cambiales e interrupciones del cambium interfascicular en algunas zonas (Fig. 10). Además, los dos tercios inferiores del tallo mostraron cierta acumulación de almidón en el parénquima cortical, y en menor grado en el xilemático y medular, junto con deformaciones y rupturas de los elementos del xilema primario

Estas alteraciones anatómicas en el cambium fueron semejantes a las halladas en tallos de tomate (3), pero difirieron en algunos aspectos con las descritas para otras especies, ya que en maracuyá no se produjo retardo marcado del proceso de crecimiento, quizás debido al corto tiempo de sometido a carencia de zinc; también hubo en maracuyá acumulación de almidón.

Las hojas afectadas mostraron células en empalizada anchas y cortas, algunas completamente destruidas. Las células del tejido esponjoso también exhibieron deformaciones, pero en menor intensidad; además este tejido se presentó más compacto (Fig. 11). Los cloroplastos del mesófilo se agruparon y muchos mostraron la apariencia de fragmentación parcial.

Estas alteraciones fueron muy semejantes a las descritas para otras especies (5, 6, 18, 22, 25, 27, 28). Pero en maracuyá no se llegó a observar un aumento del tamaño de las células en empalizada, sino más bien una reducción con acortamiento, aunque quedaron en algunos casos más anchas que normales (15)

Conclusiones

Las principales conclusiones, a que se llegó en la presente investigación, son las siguientes:

1. Los síntomas visibles coincidieron, en su mayor parte, muy bien con los descritos para muchas otras especies.
2. Las deficiencias de los cuatro microelementos afectaron el crecimiento de las plantas, en especial la de boro.

- 3 Las clorosis características en las hojas jóvenes se debían a que el trastorno producido en el metabolismo por las carencias afectó la estabilidad y síntesis de las clorofilas.
- 4 Todas las deficiencias estudiadas originaron distorsiones de las células y cloroplastos del mesófilo, especialmente en el tejido en empalizada, comprobando su importancia en la organización celular.
- 5 La falta de boro y zinc provocaron, además de clorosis, deformaciones de las hojas a través de su interferencia en el desarrollo normal del mesófilo.
- 6 Las pronunciadas deformaciones de las células cambiales y tejidos meristemáticos en general, originadas por la carencia de boro y en menor grado de zinc, se debían a que estos elementos intervienen en la mitosis y formación de nuevas paredes y elongación de las células, respectivamente.

Literatura citada

- 1 BAR-ARAVI, A. Pentose accumulation and peroxidase activity in manganese deficient and normal citrus leaves. *Phyton* 22(2): 131-136. 1965.
- 2 ————— y LAVON, R. Visible symptoms and some metabolic patterns in micronutrient deficient Eureka lemon leaves. *Israel Journal of Agricultural Research* 17(1):7-16. 1967.
- 3 CARLTON, W. M. Some effects of zinc deficiency on the anatomy of the tomato. *Botanical Gazette* 116(1): 52-64. 1954.
- 4 CHANDLER, W. H. Zinc as a nutrient for plants. *Botanical Gazette* 98(4): 625-646. 1937.
- 5 CHAPMAN, H. D. ed. *Diagnostic criteria for plants and soils*. Riverside, University of California, 1966. 793 p.
- 6 CHILDERS, N. F. ed. *Nutrition of fruit crops. Tree and small fruit*. Rutgers, New Jersey State University, 1968. 898 p.
- 7 CIBES, H. y SAMUELS, G. Mineral-deficiency symptoms displayed by coffee trees grown under controlled conditions. Puerto Rico Agricultural Experiment Station, Technical Paper No. 14. 1955. 21 p.
- 8 ————— y SAMUELS, G. Mineral-deficiency symptoms displayed by tobacco grown in the greenhouse under controlled conditions. Puerto Rico Agricultural Experiment Station, Technical Paper No. 23. 1957. 22 p.
- 9 ELTINGE, E. T. Effect of manganese deficiency upon histology of *Lycopersicon esculentum*. *Plant Physiology* 16(1):189-195. 1941.
- 10 GAUCH, H. G. y DUGGER Jr, W. M. The role of boron in the translocation of sucrose. *Plant Physiology* 28(3):457-466. 1953.
- 11 HAAS, A. R. C. Injurious effects of manganese and iron deficiencies on the growth of citrus. *Hilgardia* 7(4): 181-206. 1932.
- 12 HOAGLAND, D. R., CHANDLER, W. H. y HIBBARD, P. D. Little-leaf or rosette of fruit trees. V. Effect of zinc on growth of plants of various types in controlled soil and water culture experiments. *Proceedings American Society Horticultural Science* 33: 131-141. 1935.
- 13 KAMALI, A. R. y CHILDERS, N. F. Effect of boron nutrition on peach anatomy. *Proceedings American Society Horticultural Science* 90:33-38. 1967.
- 14 KOUŠKOLEKA, H. V. y KALLINIS, T. L. Iron deficiency in cotton in relation to growth and nutrient balance. *Soil Science Society of America, Proceedings* 32(2):253-257. 1968.
- 15 MORALES A., A. y MÜLLER, L. E. Algunos aspectos morfológicos de maracuyá (*Passiflora edulis*). *Turrialba* 22(3):268-271. 1972.
- 16 ————— y MÜLLER, L. E. Alteraciones producidas en el maracuyá (*Passiflora edulis* Sims) por deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio. *Turrialba* 26(4):331-336. 1976.
- 17 MORTON, J. F. Yellow passion fruit ideal for Florida home gardens. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 80:320-330. 1967.
- 18 MÜLLER, L. E. Algunas deficiencias minerales comunes en el café (*Coffea arabica* L.). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Boletín Técnico No. 4. 1959. 40 p.
- 19 MUÑOZ, S. M., KOCHER, G. F. y VILLALOBOS, P. A. Síntomas de deficiencias nutricionales de plantas de papayo (*C. *Carica candamarcensis* Kook*). *Agricultura Técnica (Chile)* 26(3):106-113. 1966.
- 20 ONYSCENKO, I. J. y KORECKA, O. M. The effect of microelements on the anatomical structure of apple shoots. *Ukrain Botany Z* 24(6): 76-78. 1967. (Original no consultado, compendiado en *Horticultural Abstracts* 39(1):34. 1968).
- 21 PALSER, B. F. y McILRAITH, W. J. Responses of tomato, turnip and cotton to variations in boron nutrition. II. Anatomical responses. *Botanical Gazette* 118(1): 55-71. 1956.
- 22 REED, H. S. The relation of copper and zinc salts to leaf structure. *American Journal of Botany* 26(1): 29-33. 1939.
- 23 —————. Effects of zinc deficiency on cells of vegetative buds. *American Journal of Botany* 28(1): 10-17. 1941.
- 24 —————. A physiological study of boron deficiency in plants. *Hilgardia* 17(11):377-411. 1947.
- 25 ————— y DUFRENOY, J. The effects of zinc and iron salts on the cell structure of mottled orange leaves. *Hilgardia* 9(1):113-137. 1935.
- 26 VESK, M., FOSSINGHAM, J. V. y MERCER, F. V. The effect of mineral nutrient deficiencies on the structure of the leaf cells of tomato, spinach and maize. *Australian Journal of Botany* 14(1):1-19. 1966.
- 27 WALLACE, T. *The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms; a color atlas and guide*. 2nd ed. New York, Chemical Publishing, 1961. 116 p.
- 28 WEST, S. H. y HARRIS, H. C. Physiological and biochemical functions of microelements. *Soil and Crop Science Society of Florida, Proceedings* 25:83-95. 1965.