

Respuesta a la Fertilización del Naranja 'Marrs' con Síntomas Asociados a VTC y HLB Response to Fertilization of 'Marrs' Orange Trees with Symptoms Associated with CTV and HLB

Luis Manuel Hernández-Morales¹ , José Isabel Cortés-Flores² , Eliseo García-Pérez^{3†} ,
Ángel Villegas-Monter¹ y José Antonio Mora-Aguilera⁴

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura; (L.M.H.M.), (A.V.M.), ² Edafología; (J.I.C.F.), ⁴ Fitopatología; (J.A.M.A.). Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México.

³ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz Agroecosistemas Tropicales. Carr. Federal Xalapa-Veracruz km. 88.5, Predio Tepetates. 91690 Municipio de Manlio F. Altamirano, Veracruz, México; (E.G.P.).

*Autor para correspondencia: geliseo@colpos.mx

RESUMEN

La incidencia del Virus Tristeza de los Citricos (VTC) y Huanglongbing (HLB) están asociados con el desbalance nutrimental, la presencia de síntomas en el dosel del árbol y la baja producción de naranja. La fertilización balanceada se emplea como alternativa para atenuar los daños. El objetivo fue estudiar el efecto de la fertilización en el estatus nutrimental de árboles de naranja 'Marrs' con síntomas asociados a VTC y HLB y la composición mineral de los frutos. El estudio se realizó de agosto 2019 a diciembre 2020 en una plantación comercial con árboles de seis años. Previo a la fertilización, se realizó diagnóstico nutrimental implementando los índices DOP. El diseño experimental fue bloques al azar en arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones. Las variables fueron: estatus nutrimental del árbol, deficiencias nutrimentales en hoja y composición mineral del fruto. El método DOP detectó que el $Zn > Mn > Cu > B > P > Mg > Fe > K > N > S$ fueron los minerales más requeridos; los índices para el N, S, Zn y Mn disminuyen en los árboles con síntomas ligeros y avanzados. La fertilización química foliar promovió el desarrollo de brotes vegetativos sin deficiencias nutrimentales durante la floración y amarre de fruto. Sin embargo, una sequía atípica durante la fructificación afectó la respuesta de los árboles a los tratamientos, presentando síntomas de deficiencias de Zn y Mn, combinadas con moteado clorótico asimétrico en la lámina foliar asociados a VTC y HLB. La composición mineral en los frutos fue deficiente con excepción del P, Ca y Cu.

Palabras claves: *Citrus sinensis*, *citrustristeza virus*, *estatus nutrimental*, *huanglongbing*.

SUMMARY

The incidence of citrus tristeza virus (CTV) and Huanglongbing (HLB) are associated with nutritional imbalance, the presence of symptoms in the tree canopy and low orange production. Balanced fertilization is used as an alternative to mitigate damage. The objective of our study was to assess the fertilization effects in nutritional status of 'Marrs' orange trees with symptoms associated with CTV and HLB, and the mineral composition of the fruits. The study was conducted of August 2019 to December 2020 in a commercial plantation with six-year-old trees. Before fertilization, implementing the DOP indices carried out a nutritional diagnosis. The experimental design used was random blocks in split plot arrangement, with three replications. The variables were: nutritional status of the tree, nutritional deficiencies in the leaf, and mineral composition of the fruit. The DOP method detected that $Zn > Mn > Cu > B > P > Mg > Fe > K > N > S$ were the most required minerals; indices



Cita recomendada:

Hernández-Morales, L. M., Cortés-Flores, J. I., García-Pérez, E., Villegas-Monter, A., & Mora-Aguilera, J. A. (2025). Respuesta a la Fertilización del Naranja 'Marrs' con Síntomas Asociados a VTC y HLB. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-13. e1988. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.1988>

Recibido: 18 de junio de 2024.
Aceptado: 17 de febrero de 2025.
Artículo. Volumen 43.
Junio de 2025.

Editor de Sección:
Dra. Elizabeth Urbina-Sánchez

Editor Técnico:
Dr. Marco Antonio Camacho Escobar



Copyright: © 2025 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

for N, S, Zn, and Mn show a tendency to decrease in trees with mild and advanced symptoms. Chemical foliar fertilization promoted the development of vegetative shoots without nutritional deficiencies during flowering and fruit set. However, an atypical drought during fruiting affected the trees' response to the treatments. The trees presented symptoms of Zn and Mn deficiencies, combined with asymmetric chlorotic mottling in the leaf blade associated with CTV and HLB. Overall, the mineral composition of the fruits was deficient except for P, Ca, and Cu.

Index words: *Citrus sinensis*, citrus tristeza virus, nutritional status, huanglongbing.

INTRODUCCIÓN

La citricultura en México es una actividad productiva de gran importancia por los ingresos que genera para los productores y los empleos que demanda. En Veracruz, se cultivan 167 884 ha de naranjo, de las cuales 97.85% son de temporal y 2.14% de riego. Las principales variedades cultivadas en la entidad son Valencia, Washington Navel y Marrs (SIAP, 2018). En los últimos años, la producción citrícola tiene importantes cambios por la incidencia progresiva de enfermedades como el virus tristeza de los cítricos (VTC), Huanglongbing (HLB), Caquexia y Exocortis (Villegas-Monter y Mora, 2011). La diseminación del VTC se ha dispersado a través de vectores transmisores del virus tales como *Toxoptera citricida* Kirkaldy (Quiroga-Cardona, Hernández, Silva y Orduz, 2010) y propagación vegetativa a partir de viveros no certificados. El HLB se considera la enfermedad más destructiva para los cítricos en el mundo, es causada por la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas) y diseminada por el vector *Diaphorina citri*. Todas las variedades comerciales de cítricos son susceptibles a esta enfermedad, pero las dulces son más afectadas (FONTAGRO, 2021).

Se tiene documentado que VTC causa daños en los haces vasculares debido al uso de portainjertos susceptibles, como el "naranjo agrio" (*Citrus aurantium*) (Villegas-Monter y Mora, 2011); la bacteria causante del HLB, promueve depósitos de almidón en los tejidos epidérmico, fundamental y del floema (Achor, Etxeberria, Wang, Folimonova, Chung y Albrigo, 2010). La presencia de síntomas de deficiencias nutrimentales, debilitamiento general y muerte repentina de árboles de naranjo, se asocian con la incidencia del VTC y HLB (Contreras, Ovando y Villegas, 2019). La infección combinada de CLas y VTC puede ejercer efecto de sinergia en el debilitamiento del árbol, debido a que limita el transporte de fotoasimilados y nutrimentos (Fu, Shao, Paul, Zhou y Hartung, 2017); por ejemplo, la carencia de Zn en hojas de naranjo (Timothy y Schumann, 2009); Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Boro (B) en limón mexicano (*C. aurantifolia*) (Manzanilla-Ramírez et al., 2019).

En naranjo 'Valencia' (*C. sinensis*) afectados por HLB, el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS por sus siglas en inglés) detectó que el Mg fue el nutrimento más limitante, seguido del Manganeseo (Mn) y el Zn; el Azufre (S), B, K y Fe fueron menos deficientes, y los índices en exceso fueron el Nitrógeno (N), Ca, Cu y Fósforo (P) (Schumann, Waldo, Vashisth, Wright y Morgan, 2019). Esto indica que la epidemiología de CLas causante del HLB (Schumann, 2009) y los virus (Lacroix, Seabloom y Borer, 2017) influyen en el desbalance nutrimental del huésped, y generan carencias internas que alteran los procesos fisiológicos. En consecuencia, se presentan los síntomas de VTC, hojas pequeñas y clorosis, que se pueden confundir con deficiencias nutrimentales; sin embargo, el desarrollo puede continuar y el árbol se recupera parcialmente cuando son razas ligeras (Müller, Penteado, Alves, Alves de Souza y Verle, 2005). Con razas severas, el crecimiento es paralizado y en corto tiempo el dosel del árbol se defolia por completo, los frutos permanecen pequeños y unidos a las ramas muertas del árbol (Cuéllar, 2016). En hojas de naranjo afectados por HLB, se observan nervaduras corchosas, moteado clorótico asimétrico en la lámina foliar, punteado clorótico hasta amarillamiento y abscisión foliar (Esquivel-Chávez et al., 2012). La aplicación de fósforo a los árboles de cítricos reduce los síntomas y mejora el rendimiento de fruto (Zhao et al., 2013). La fertilización al suelo y al follaje en árboles de lima 'persa' (*C. latifolia*) atenúa los síntomas de HLB (Hernández et al., 2014), estas prácticas acompañadas de riego y poda de ramas, retardan la enfermedad en algunas especies de cítricos (Xia et al., 2011). No obstante, Beozzo (2016) reportó que las aplicaciones de microelementos al follaje corrigen la carencia de Zn y Mn en naranjos afectados por HLB, pero el moteado en las hojas persiste. Con base en lo anterior, el objetivo fue estudiar el efecto de la fertilización en el estatus nutrimental de árboles de naranjo 'Marrs' con síntomas asociados a VTC y HLB y la composición mineral de los frutos. La hipótesis general fue que la adecuada nutrición en árboles de naranjo a través de la aplicación de micronutrimentos (Zn, Mn, B, Fe, Cu) y macronutrimentos (N, P, K, Ca, Mg) al follaje y al suelo, puede contribuir a la producción aceptable de frutos en cantidad y calidad, aún con incidencia de VTC y HLB.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio y Material Vegetal

El estudio se realizó de agosto 2019 a diciembre 2020 en un huerto comercial de naranjo 'Marrs' / *C. volkameriana* de seis años de edad, en producción y sin riego, ubicado en Cazones de Herrera, Veracruz, México. Debido a la topografía irregular del terreno, los árboles se seleccionaron en la parte baja y alta, en función de tres grados de síntomas asociados a VTC y HLB: asintomáticos, ligero y avanzado. El suelo es de textura franco-arcillosa en la parte baja del terreno y en la parte alta es de textura franca, con densidad aparente de 1.1 g cm^{-3} , pH de 7.9, CaCO_3 de 40.1%, CIC de $30.5 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ y CE de 0.59 dS m^{-1} . En la parte baja del terreno, el contenido de NO_3^- , P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu y B fue de 14, 9.5, 194, 6362, 138, 1.69, 23.2, 0.72, 1.74, 0.56 y 0.47 mg kg^{-1} respectivamente y 3.51% de MO; mientras que, en la parte alta presentó contenido de NO_3^- , P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu y B de 3.14, 6.51, 152, 5256, 110, 1.69, 6.44, 0.15, 1.01, 0.61 y 0.34 mg kg^{-1} , respectivamente y 1.95% de MO.

Diseño de Tratamientos y Experimental

Se evaluaron seis tratamientos de fertilización, resultantes de la combinación de los niveles de los factores de estudio: i) fertilización al suelo con tres niveles: química (FQS), orgánica (FOS) y combinada (FCS), y ii) fertilización foliar con dos niveles, química (FQF) y orgánica (FOF).

El diseño experimental fue bloques al azar en arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones, con 6 árboles por bloque. En la parcela grande se aplicó la fertilización foliar y en las parcelas chicas las fertilizaciones al suelo. El árbol de naranjo fue la unidad experimental y la integración de los bloques se realizó con base en el grado de síntomas asociados a VTC y HLB: asintomático, ligero y avanzado.

La FQS consistió de $100 \text{ N} - 22 \text{ P}_2\text{O}_5 - 195 \text{ K}_2\text{O} - 30 \text{ MgO}$, tuvo como base el contenido mineral que se obtuvo del análisis del suelo y la demanda nutrimental de árboles de naranjo en producción (Srisvastava, 2012) y se hicieron dos aplicaciones con los siguientes fertilizantes químicos: la primera con $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (600 g) + $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (120 g) + K_2SO_4 (468.75 g) + MgSO_4 ($225.5 \text{ g árbol}^{-1}$), y la segunda con $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (542 g) + K_2SO_4 (468.75 g) + MgSO_4 ($225.5 \text{ g árbol}^{-1}$). La FOS fue compost, cuya composición fue NO_3^- (0.06%), P_2O_5 (0.18%), K_2O (1.12%), MgO (0.13%), CaO (0.39%) y MO (17%) que se aplicó a razón de 10 kg árbol^{-1} .

La FSC consistió en aplicar el 50% de la FQS y el 100% de la FOS. Las tres fertilizaciones fueron fraccionadas en dos aplicaciones; la primera se hizo posterior a la cosecha del ciclo 2017-2018, en la mitad del área de goteo orientado al oeste; y la otra durante el desarrollo intermedio del fruto orientado al este, e incorporados a profundidad 30 cm cerca del área de raíces. La FQF fue una solución nutritiva a base de sulfato de zinc (Zn 35.5%), bórax pentahidratado (B 20.5%), sulfato de hierro (Fe 20%), sulfato de manganeso (Mn 27%) y sulfato de cobre pentahidratado (Cu 25%), concentrada a 1 g L^{-1} , respectivamente. La FOF fue con biol "Supermagro", el cual contenía 0.21% Zn, 0.06% B, 0.02% Cu, 0.02% Fe y 0.0037% Mn, diluido en 33.33 mL L^{-1} . En total, se realizaron cuatro aplicaciones de fertilización química y orgánica al follaje a dosis de $500 \text{ mL árbol}^{-1}$ cada 15 días, empezando en la fase de brotación vegetativa y floral y, se concluyó en la etapa de amarre inicial de fruto; para su aplicación, se usó motobomba SOLO® con capacidad de 12 litros.

Muestreo y Análisis de Suelo y de Hoja

El muestreo de suelo se realizó durante el desarrollo del fruto del ciclo 2018-2019. Se obtuvieron dos muestras compuestas de 10 submuestras recolectadas en zigzag, en la zona de raíces a 30 cm de profundidad. El muestreo de hoja se realizó después de la cosecha del ciclo 2018-2019, antes de la aplicación de los tratamientos de fertilización. En total se obtuvieron seis muestras compuestas por seis árboles (una por grado de síntomas, tres en cada parte del terreno), a 160 cm de altura y distribuida en los cuatro puntos cardinales del árbol. Ambas muestras fueron analizadas en el laboratorio de Fertilab®, en Celaya, Guanajuato, México; en la de suelo se determinó: clase textural, densidad aparente (g cm^{-3}), pH, conductividad eléctrica CE (dS m^{-1}), carbonatos totales (%), capacidad de intercambio catiónico CIC ($\text{cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$), MO (%), contenido de NO_3^- , P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, B y S en mg kg^{-1} , respectivamente; en la hoja fue N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu y B en mg kg^{-1} , respectivamente. El diagnóstico de la fertilidad del suelo se realizó con base en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002) y el de hoja con los índices DOP.

Interpretación del Análisis Foliar con los Índices DOP

El método de Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) se implementó para calcular los índices de cada nutrimento con la siguiente ecuación:

$$\text{índices DOP} = \frac{A - a}{a}(100) \quad (1)$$

Donde: A = concentración en la muestra (resultado de laboratorio); a = norma DOP (media de niveles críticos de suficiencia). Los índices negativos indican deficiencia, los positivos, exceso y los índices igual a cero indican condición óptima. Con los índices negativos se obtuvieron el Orden de Requerimiento Nutricional (ORN) y fueron ordenados del más requerido al menos requerido.

Muestreo del Fruto

Se realizó al momento de la cosecha. En total se recolectaron 18 frutos (tres por tratamiento contrastante, nueve en cada parte del terreno).

Variables

Estatus Nutricional del Árbol

Los resultados del análisis foliar fueron comparados con valores de referencia para el cultivo y el análisis del suelo. Los índices DOP resultantes fueron relacionados con los grados de síntomas asociados a VTC y HLB, mediante líneas de tendencias con $r > 0.8$, graficadas en el programa de Excel® versión 2016.

Síntomas de Deficiencias Nutricionales en Hoja

Se determinaron en tres fases durante el ciclo. Fase inicial. Fue después de la cosecha 2019, antes de la primera aplicación de los fertilizantes; se observaron y clasificaron árboles asintomáticos, con síntomas ligeros y avanzados, en ellos se identificaron deficiencias nutricionales y asociadas al complejo de VTC y HLB. Fase intermedia. Se realizó durante la floración y el amarre de fruto, después de la primera aplicación de los fertilizantes al suelo y las cuatro aplicaciones al follaje, para observar el efecto de la fertilización en la evolución de los síntomas. Fase final. Se realizó en la cosecha 2020, después de las dos aplicaciones de fertilizantes al suelo y las cuatro al follaje, para observar la respuesta de los tratamientos en los síntomas con los que finalizaron los árboles en un ciclo de producción.

Composición Mineral del Fruto.

Se escogieron frutos de los árboles que recibieron FQF + FQS, FQF + FCS y FOF + FOS para determinar el contenido nutricional. Las muestras se prepararon previamente a partir de la extracción del jugo de los frutos, la materia fresca se guardó en bolsas de papel y se colocaron en estufa de aire forzado a 70 °C durante 48 h. El material seco se trituró en molino de acero inoxidable con tamiz de 1 mm. Posteriormente, para el contenido de N, se determinó digestado con H_2SO_4 , titulación con arrastre de vapor y determinado por el método de Kjeldahl. El P, K, Ca y Mg se digitaron con $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ relación 2:1 y fueron determinados por colorimetría en el complejo amarillo vanadio molibdato para P, por emisión atómica para K y absorción atómica para Ca y Mg en %. El Zn, Mn, Fe y Cu fueron digeridos con $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ relación 2:1 y determinados por absorción atómica y el B con azometina H.

Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS® versión 9.4. (SAS Institute, 2018) A cada variable se le realizó un ANOVA y comparación de medias con la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estatus Nutricional del Árbol

En el suelo, los niveles de MO, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y B fueron superiores en la parte baja del terreno con respecto a la parte alta. En la parte baja se encontró el mayor contenido de nutrientes en las hojas de los árboles, a excepción del K, Zn y B (Cuadro 1), debido a exceso de Ca y la elevada relación de bases intercambiables. En hojas de árboles con síntomas ligeros y avanzados asociados a VTC y HLB (Cuadro 1) se presentó menor contenido de N, Ca, S, Zn y Mn, valores bajos comparado con los estándares normales en hojas de naranjo (N: 26 500, P: 3100, K y Ca: 9500, Mg: 3500, S: 3000, Zn: 87.5, Mn: 125, Fe: 105, Cu: 15.5, B: 115 mg kg⁻¹, respectivamente) (Morgan *et al.*, 2018). El contenido de Zn, Mn, P y Mg también disminuyó en hojas de naranjo con HLB (Ramírez *et al.*, 2016); así como, el de K, Ca, Cu, Fe y B en hojas de limón mexicano (*C. aurantifolia*) (Manzanilla-Ramírez *et al.*, 2019).

Los índices DOP detectaron deficiencias de nutrientes en las hojas de naranjo, en los tres grados de síntomas asociados a VTC y HLB, en ambas partes del terreno. En los árboles asintomáticos los nutrientes más limitantes según el ORN, fueron Zn > Mn > Cu > B > P > Mg > K > S en la parte baja y, Zn > Mn > Cu > P > Mg > B > Fe > N > S en la parte alta del terreno. En los árboles con síntomas ligeros y avanzados el ORN fue similar al de los asintomáticos, siendo el Zn, Mn, Cu, P, B y Mg los más requeridos (Cuadro 2). En naranjos 'Valencia' aparentemente sanos los índices DOP detectaron por medio del ORN que los nutrientes más requeridos eran Cu > Mg > Fe > P > K > Ca > B > N > Mn (Ventura-Ulloa *et al.*, 2012); pero, cuando son afectados por la incidencia de HLB, los índices DRIS señalaron que el Mg es el nutriente más limitante, seguido del Mn y el Zn; el S, B, K y Fe también son deficientes, pero en menor nivel, y los índices en exceso fueron el N, Ca, Cu y P (Schumann *et al.*, 2019). En naranjo 'Marrs' se conoce muy poco del estatus nutricional en relación al nivel de afectación de HLB y VTC; sin embargo está demostrado que el rendimiento es menor cuando los sistemas asociados a estos patógenos se agudizan, lo cual está relacionado con el desbalance nutricional del árbol (Hernández-Morales, García, Cortés, Villegas y Mora, 2023). Esto indica que, en árboles asintomáticos, el contenido de los nutrientes está por debajo del óptimo, en donde aún no se expresan los síntomas de deficiencia en las hojas, condición conocida como hambre oculta.

Los índices DOP para N, Ca y Zn en la parte baja y para Ca, S, Zn y Mn en la parte alta del terreno, disminuyeron en los árboles con síntomas ligeros y avanzados asociados a VTC y HLB, con respecto a los árboles asintomáticos (Figura 1A y B). Esto indica que el N, S, Zn y Mn se alejaron del óptimo porcentual con índices más negativos cuando los síntomas son avanzados. El Ca que tuvo índice positivo (en exceso), también disminuyó conforme avanzaron los síntomas. Los índices para P, K, Mg, Fe, Cu y B no mostraron tendencia decreciente conforme avanzó el grado de sintomatología. Se tiene documentado que los índices para Mg, Mn, Zn y B disminuyen en naranjo 'Valencia' afectado por HLB (Schumann *et al.*, 2019), ya que durante la patogénesis del VTC y HLB hacen uso del N y P (Lacroix *et al.*, 2017); además, atrofian los haces vasculares en el huésped (Arce-Leal *et al.*, 2019),

Cuadro 1. Composición mineral en hojas de naranjo 'Marrs' / *C. volkameriana*, con tres grados de síntomas asociados a VTC y HLB, en las partes baja y alta del terreno.

Table 1. Mineral composition in orange leaves 'Marrs' / *C. volkameriana*, with three degrees of symptoms associated with CTV and HLB, in the lower and upper parts of the terrain.

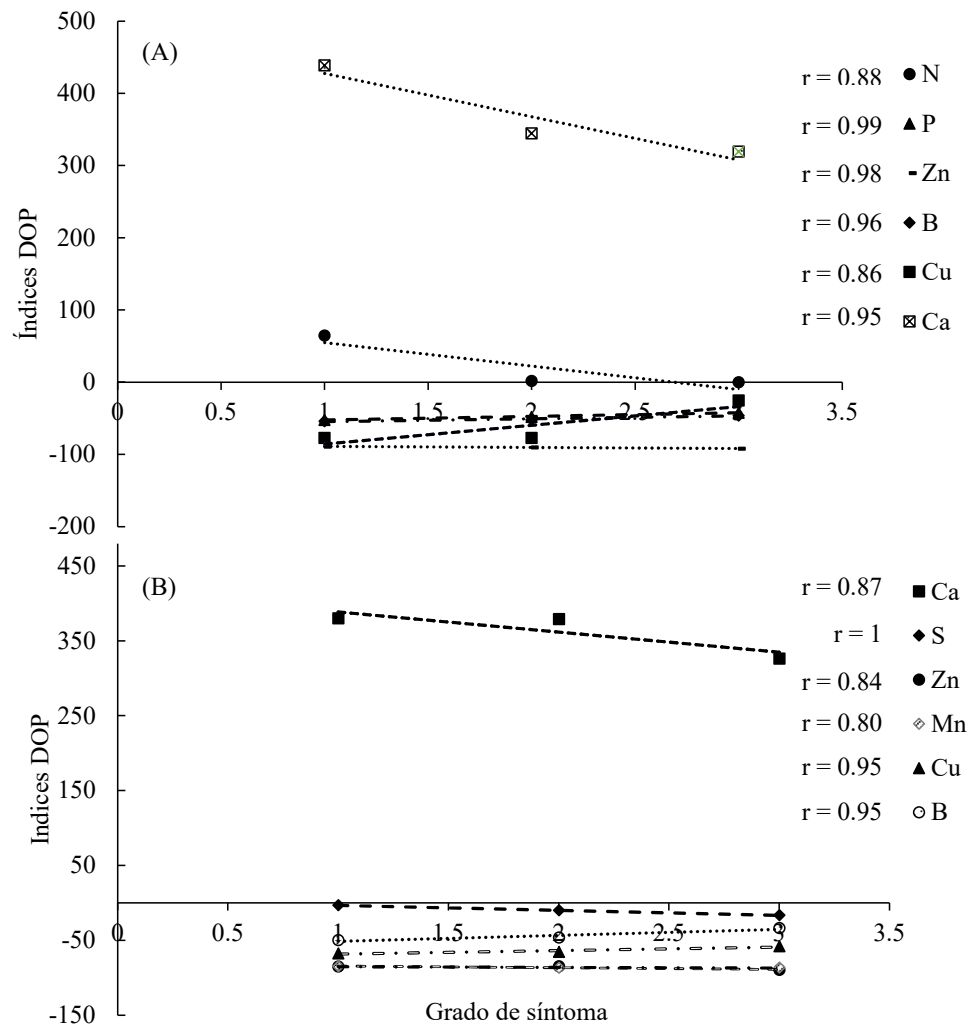
Terreno (parte)	Grado de síntomas	Nutrimentos										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	Cu	B
----- mg kg ⁻¹ -----												
Baja	Asintomático	43 700	1500	7800	51 200	1800	2800	159	12.2	19.1	3.53	52.5
	Ligero	27 100	1600	7000	42 300	1600	2500	121	8.51	15.3	3.5	55.3
	Avanzado	26 600	1800	9300	39 800	1800	2800	155	7.09	19.5	11.6	62.3
Alta	Asintomático	25 500	1300	16 000	45 600	1600	2900	81.9	13	18.9	5.03	57.7
	Ligero	20 100	1200	15 100	45 500	1000	2700	108	13.2	16.3	5.36	61.5
	Avanzado	23 400	1300	16 700	40 500	1200	2500	97.2	8.99	16.7	6.48	76.1

Cuadro 2. Índices DOP y ORN en hojas de naranjo 'Marrs' / *C. volkameriana*, con tres grados de síntomas asociados a VTC y HLB, en las partes baja y alta del terreno.**Table 2. DOP Indices and ORN in orange leaves 'Marrs' / *C. volkameriana*, with three degrees of symptoms associated with CTV and HLB, in the lower and upper parts of the terrain.**

Terreno (parte)	GS	Nutrimentos (mg kg ⁻¹)											ORDEN
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	Cu	B	
Baja	As	65	-52	-18	439	-49	-7	51	-86	-85	-77	-45	Zn>Mn>Cu>B>P>Mg>K>S
	L	2	-48	-26	345	-54	-17	15	-90	-88	-77	-52	Zn>Mn>Cu>Mg>B>P>K>S
	A	0	-42	-2	319	-49	-7	48	-92	-84	-25	-46	Zn>Mn>Mg>B>P>Cu>S>K
Alta	As	-4	-58	68	380	-54	-3	-22	-85	-85	-68	-50	Zn>Mn>Cu>P>Mg>B>Fe>N>S
	L	-24	-61	59	379	-71	-10	3	-85	-87	-65	-47	Mn>Zn>Mg>Cu>P>B>N>S
	A	-12	-58	76	326	-66	-17	-7	-90	-87	-54	-34	Zn>Mn>Mg>P>Cu>B>S>N>Fe

GS = grado de síntoma; As = asintomático; L = ligero; Av = avanzado.

GS = symptom grade; As = asymptomatic; L = mild; Av = advanced.

**Figura 1. Relación entre los índices DOP y el grado de síntoma de naranjo 'Marrs' / *C. volkameriana* en las partes baja (A) y alta (B) del terreno. 1 = Asintomático; 2 = Ligero; 3 = Avanzado.****Figure 1. Relationship between DOP indices and degree of symptom in orange trees 'Marrs' / *C. volkameriana* in the lower (A) and upper (B) part of the terrain. 1 = Asymptomatic; 2 = Light; 3 = Advanced.**

lo que genera desbalance nutrimental del árbol (Fu *et al.*, 2017); en consecuencia, el sistema de raíces se debilita (Hamido, Ebel y Morgan, 2019), limitando la absorción de S, Fe y, otros nutrimentos que son preferencialmente suministrados por intercepción de raíces (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009). Esto indica que la topografía del terreno influye en la fertilidad del suelo, y, en consecuencia, en el estatus nutrimental de los árboles, el cual disminuye con el avance de los síntomas asociados a VTC y HLB.

Síntomas de Deficiencias Nutrimentales en Hoja

Fase inicial. Después de la cosecha 2019, los árboles presentaron diferentes grados de síntomas, en ambas partes del terreno. Hubo árboles asintomáticos, con dosel vigoroso sin síntomas de deficiencias nutrimentales, no mostraron síntomas comunes por VTC y HLB. Hubo árboles con síntomas ligeros de deficiencia de Zn, Mn, Mg y N, además de nervaduras amarillas y clorosis asimétrica en las hojas del dosel, pero aún con vigor. Otros árboles presentaron síntomas avanzados (deficiencia de nutrimentos, moteado clorótico acentuado, hojas pequeñas, nervaduras amarillas, defoliación y ramas muertas) (Figura 2). Obreza y Morgan (2017a), observaron que la deficiencia de Zn en los cítricos provoca hojas pequeñas, estrechas y alargadas con clorosis que llega hasta el margen de la hoja, la de Mn es similar al Zn, pero la clorosis no llega hasta el margen, y la de N presenta clorosis en hojas maduras, el árbol con escaso vigor y poco follaje. En naranjo 'Valencia' con HLB ocurre caída de hojas, estas son corchosas, con nervaduras cloróticas gruesas (Esquivel-Chávez *et al.* 2012), con VTC se aprecian deficiencias nutrimentales, hojas pequeñas y ramas secas (Müller *et al.*, 2005).

Fase intermedia. Al inicio de la brotación vegetativa y floral, las hojas nuevas de los árboles no presentaron síntomas asociados a VTC y HLB, ni deficiencias nutrimentales en ambas partes del terreno (Figura 3A). Es decir, que la condición inicial de los árboles con síntomas ligeros y avanzados mejoró. Esto indica que la aplicación de los tratamientos de fertilización, en condiciones de humedad residual del ciclo anterior, permitió la absorción y translocación de los nutrimentos para ser usados en la formación de nuevos órganos (Srisvastava, 2012). A partir del amarre del fruto, la condición de los árboles se vió afectada, por una sequía atípica durante la fructificación, lo que provocó estrés hídrico, en estas condiciones es limitada la absorción nutrimental (Srisvastava, 2012). No obstante, los árboles con FQF se mantuvieron asintomáticos; en contraste con FOF, que presentaron carencias de Zn y Mn en el follaje (Figura 3B y C).

Fase final. En las Figuras 4 y 5, se observan hojas de árboles en diferentes bloques de síntomas asociados a VTC y HLB, confirmados como positivos o negativos a las enfermedades y con diferentes tratamientos de fertilización. Los bloques que iniciaron asintomáticos, terminaron el ciclo con síntomas ligeros de deficiencias de Zn y Mn; además de moteado clorótico asimétrico en la lámina foliar, con nervaduras amarillas y gruesas. Los bloques que inicialmente fueron ligeros y avanzados tuvieron síntomas similares pero más acentuados. Los árboles positivos a VTC presentaron hojas pequeñas y clorosis internerval con recurrencia; los positivos a HLB tuvieron hojas con nervaduras gruesas y amarillas, y moteado clorótico asimétrico en la lámina foliar. Los árboles positivos a VTC y HLB, mostraron un complejo de síntomas por deficiencias nutrimentales, además de los síntomas más frecuentes en los árboles con VTC y HLB descritos líneas arriba. Hubo árboles con prueba negativa a ambas enfermedades, tuvieron hojas verdes y de tamaño normal. Los árboles que recibieron FQF terminaron el ciclo con hojas de tonalidad verde (más intenso) con respecto a los árboles con FOF, en ambas partes del terreno. En naranjos con HLB se presentó moteado clorótico asimétrico en la lámina foliar, abscisión, y deficiencias de Zn y Mn

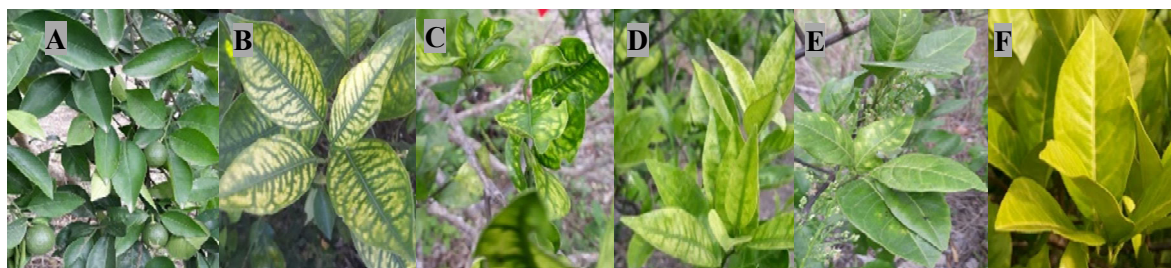


Figura 2. Hojas de naranjo 'Marrs' aparentemente sanas (A); con síntomas de deficiencia de Zn (B); Mn (C); Zn con moteado asimétrico (D); Mn y N con nervaduras amarillas (E y F); al inicio del ciclo 2019 - 2020.

Figure 2. Orange leaves 'Marrs' apparently healthy (A); with symptoms of Zn deficiency (B); Mn (C); Zn with asymmetric mottling (D); Mn and N with yellow ribbing (E, F and G); at the beginning of the 2019-2020 cycle.



Figura 3. Brotes nuevos asintomáticos (A); efecto de la fertilización química (B) y orgánica (C) foliar en los síntomas de las hojas de naranjo 'Marrs' / *C. volkameriana*, durante el amarre y fructificación.

Figure 3. Asymptomatic new outbreaks (A); the effect of chemical (B) and organic (C) foliar fertilization on leaf symptoms in orange trees 'Marrs' / *C. volkameriana*, during the fruit set and fructification.

(Esquivel-Chávez *et al.*, 2012; Beozzo, 2016), similar a los síntomas de árboles positivos a HLB en el presente trabajo. El VTC está asociado a deficiencias nutrimentales y hojas pequeñas (Müller *et al.*, 2005), se encontraron los mismos síntomas de los árboles positivos a VTC en esta investigación. La infección simultánea de HLB y VTC ejercen sinergia en el debilitamiento del árbol por la alteración de la translocación de nutrientes (Fu *et al.*, 2017). La aplicación de NH_4NO_3 , K, Ca y Mg más $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ y B al suelo combinado con N, P, K, Ca, microelementos y aminoácidos al follaje retardaron los síntomas HLB en árboles de lima 'persa' (*C. latifolia*) (Hernández *et al.*, 2014). Por otra parte, Beozzo (2016), cita que las aplicaciones de microelementos al follaje de cítricos corrigen la carencia de Zn y Mn en árboles afectados por HLB, pero el moteado en las hojas persiste, similar a lo ocurrido en el presente trabajo.

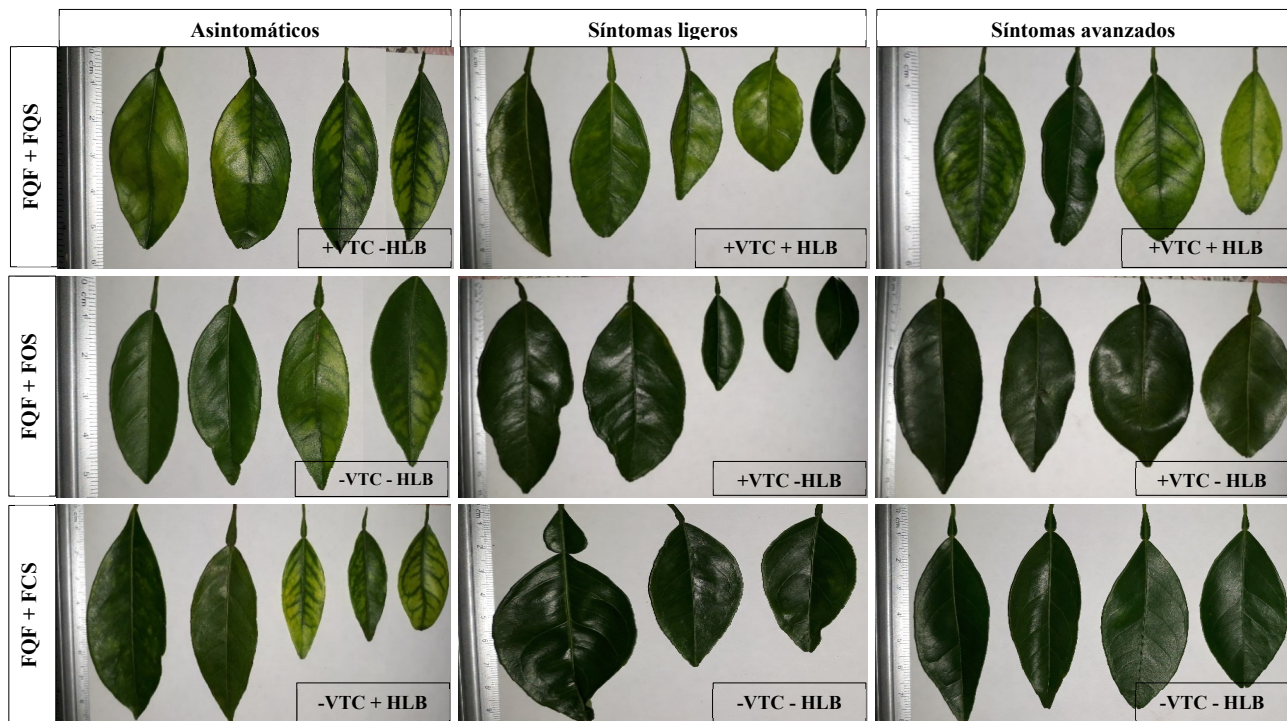


Figura 4. Síntomas de deficiencias nutrimentales, y de VTC y HLB en hojas de naranjo 'Marrs' / *C. volkameriana*, con fertilización química al follaje más química, orgánica y combinada al suelo, en la parte baja del terreno.

Figure 4. Symptoms of nutritional deficiencies and of CTV and HLB in orange leaves 'Marrs' / *C. volkameriana*, with chemical fertilization to the foliage plus chemical, organic and combined to the soil, in the lower part of the terrain.

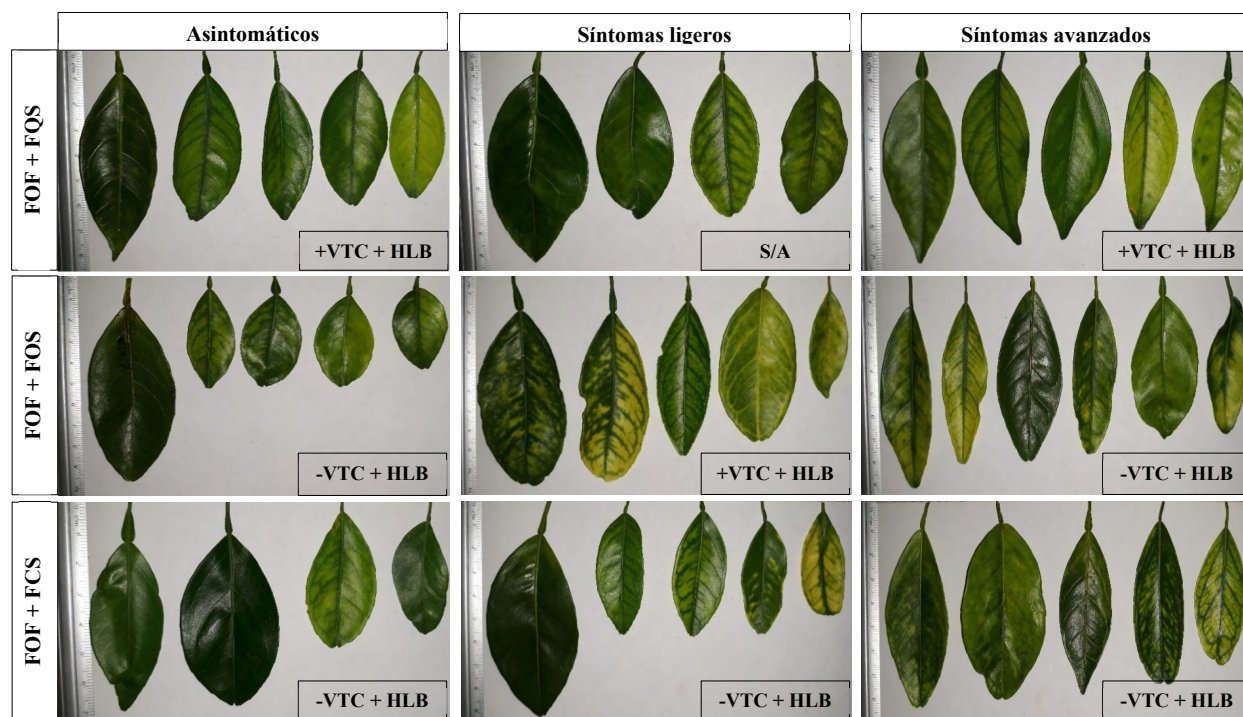


Figura 5. Síntomas de deficiencias nutrimentales, y de VTC y HLB en hojas de naranjo 'Marrs' / *C. volkameriana*, con fertilización orgánica al follaje más química, orgánica y combinada al suelo. S/A= sin analizar. en la parte baja del terreno.
Figure 5. Symptoms of nutritional deficiencies and of CTV and HLB in orange leaves 'Marrs' / *C. volkameriana*, with organic fertilization to the foliage plus chemical, organic and combined soil. S/A = not analyzed. In the lower part of the terrain.
Contenido Mineral del Fruto.

Contenido Mineral del Fruto

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos de fertilización en el contenido de N y P en el fruto, en la parte baja del terreno y para Cu en la parte alta del terreno. Los frutos de árboles con FQF + FCS tuvieron contenido de N de 10 700 mg kg⁻¹ de N, que superó a la FQF + FQS. Los frutos provenientes de FOF + FOS presentaron contenido de P de 2700 mg kg⁻¹, que superó a los otros tratamientos, y la FQF + FQS presentó contenido de Cu de 2.67 mg kg⁻¹, que superó a la FOF + FOS (Cuadro 3).

El grado de síntoma asociado a VTC y HLB afectó el contenido de Mg en la parte baja y el de Cu en la parte alta del terreno. Los frutos de árboles con síntomas avanzados tuvieron 1300 mg kg⁻¹ de Mg y superaron a los frutos de árboles con síntomas ligeros (700 mg kg⁻¹); mientras que, en Cu, los frutos de árboles con síntomas ligeros presentaron 2.67 mg kg⁻¹ y superaron a los frutos de árboles con síntomas avanzados (1.33 mg kg⁻¹). El contenido de K, Ca, Fe, Zn, Mn y B en los frutos no fueron afectados por el grado de síntomas asociados a VTC y HLB, y por los tratamientos de fertilización en ambas partes del terreno (Cuadro 3).

Se tiene documentado que el contenido de N en los frutos de naranja es de 11 000 a 12 500, P de 1000 a 2500, K de 990 a 13 571, Ca de 250 a 5500, Mg de 800 a 2300, Fe de 31.6 a 74.8, Cu de 1.8 a 5.2, Zn de 5 a 12.5, Mn de 5.7 a 13.1 y B de 29 a 36.5 mg kg⁻¹, respectivamente (Xing-Zheng *et al.*, 2019; Czech *et al.*, 2020); sin embargo, durante el desarrollo del fruto estos contenidos pueden variar, por ejemplo, el N, P, Mg, S, Mn y Zn son altos durante el amarre y en la primera caída fisiológica del fruto, y van disminuyendo hasta la maduración. El contenido de K y Fe es alto durante la expansión del fruto, y el Ca en la maduración (Xing-Zheng *et al.*, 2019). La composición mineral también puede diferir por ser especies diferentes, y por otros factores, tales como el manejo de la fertilización, suelo, clima, combinación entre injerto/portainjerto y estado de desarrollo de los árboles (Cao, Cheng, Yang y Wang, 2015).

El contenido de N fue deficiente en los frutos evaluados, lo que puede tener relación con el nivel pobre de NO₃⁻ en el suelo que fue de 3.43 a 14 mg kg⁻¹. Incluso, con la alteración de la síntesis de compuestos orgánicos como nucleótidos, enzimas y proteínas (Obreza, Zekri y Futch, 2017b), además del uso por los virus y bacterias durante la patogénesis (Lacroix *et al.*, 2017). El contenido de P fue inconsistente en las dos áreas del terreno; en la parte baja fue deficiente en el fruto, y en la parte alta en exceso. Esto puede estar relacionado con la fertilidad del suelo en cada área y en la variación del P durante el desarrollo del fruto (Xing-Zheng *et al.*, 2019).

Cuadro 3. Composición mineral del fruto de naranja 'Marrs', cosechados de árboles fertilizados y con síntomas asociados con VTC y HLB en las partes baja y alta del terreno.
Table 3. Mineral composition of the 'Marrs' orange fruit, harvested from fertilized trees and with symptoms associated with CTV and HLB in the lower and upper part of the terrain.

Fuentes de variación	Nutrimentos (mg kg ⁻¹)									
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Grado de síntomas	Parte baja del terreno									
Asintomático	9500 a [†]	1600 a	6400 a	12 800 a	900 ab	14.67 a	1.00 a	4.33 a	5.66 a	18.33 a
Ligero	8300 a	1400 a	5700 a	11 500 a	700 b	19.67 a	1.00 a	3.66 a	4.66 a	16.00 a
Avanzado	9100 a	2200 a	9400 a	15 300 a	1300 a	20.67 a	2.33 a	5.00 a	6.33 a	16.67 a
Pr > F [‡]	0.4812	0.1812	0.1410	0.6377	0.0372	0.9607	0.2170	0.060	0.5071	0.4328
Fertilización [§]										
FQF+FQS	7000 b	900 b	7000 a	11 100 a	900 a	37.33 a	1.00 a	3.00 a	5.00 a	16.33 a
FQF+FCS	10 700 a	1600 ab	6700 a	11 800 a	900 a	17.33 a	2.00 a	5.33 a	5.66 a	17.66 a
FOF+FOS	9100 ab	2700 a	7800 a	16 700 a	1100 a	0.33 a	1.33 a	4.66 a	6.00 a	17.00 a
Pr>F	0.0396	0.0260	0.7503	0.3775	0.4839	0.3573	0.4444	0.250	0.7575	0.7432
Grado de síntomas	Parte alta del terreno									
Asintomático	8700 a	2700 a	11 700 a	12 300 a	1100 a	12.33 a	2.00 ab	6.70 a	5.66 a	20.00 a
Ligero	8500 a	2500 a	10 700 a	11 200 a	1000 a	27.67 a	2.67 a	10.70 a	5.33 a	17.00 a
Avanzado	7500 a	2400 a	8000 a	97 00 a	1100 a	13.33 a	1.33 b	6.70 a	6.00 a	16.33 a
Pr > F	0.2899	0.4138	0.1125	0.7228	0.8205	0.7033	0.0400	0.1837	0.7901	0.1748
Fertilización										
FQF+FQS	8000 a	2700 a	9200 a	11 500 a	1000 a	18.00 a	2.67 a	9.33 a	6.60 a	16.70 a
FQF+FCS	8000 a	2300 a	10 400 a	11 200 a	1200 a	10.00 a	2.00 ab	8.33 a	5.66 a	19.70 a
FOF+FOS	8900 a	2600 a	11 000 a	10 500 a	1000 a	25.33 a	1.33 b	6.33 a	4.66 a	17.00 a
Pr > F	0.3699	0.1624	0.5121	0.9487	0.6421	0.7512	0.0400	0.3989	0.2215	0.2534

[†] Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). [‡] Pr > F = nivel de significancia estadística.

[§] FQF = fertilización química foliar; FOF = fertilización orgánica foliar; FQS = fertilización química al suelo; FOS = fertilización orgánica al suelo; FCS = fertilización combinada al suelo.

[†] Different letters in the same column indicate significant differences, according to the Tukey test ($P \leq 0.05$). [‡] Pr > F = level of statistical significance. [§] FQF = foliar Chemical Fertilization; FOF = foliar organic fertilization; FQS = chemical soil fertilization; FOS = organic soil fertilization; FCS = combined soil fertilization.

Se ha reportado que la incidencia de virus y también *Candidatus Liberibacter asiaticus* promueven carencias de P (Lacroix *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2013); sin embargo, en los frutos evaluados no se observó ninguna tendencia similar. El K fue de moderado a deficiente en el fruto, condición que se relaciona con el bajo suministro de K en el suelo, que fue de 152 a 194 mg kg⁻¹. Es importante indicar que la incidencia de HLB debilita el desarrollo de las raíces (Hamido *et al.*, 2019), en consecuencia, la absorción de K se reduce, por ser un elemento que es suministrado principalmente por difusión (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009). En Ca, el contenido de 9700 a 15 300 mg kg⁻¹ resultó elevado y supera lo reportado en la literatura (360 a 410 mg kg⁻¹) Moreiras, Carbajal, Cabrera y Cuadrado (2010), fue el elemento más abundante en el fruto, superando al N y K que en general son los de mayor presencia en frutos de naranja (Xing-Zheng *et al.*, 2019). Probablemente el alto contenido de Ca (5256 a 6362 mg kg⁻¹) en el suelo donde están creciendo los árboles, genere efecto antagónico con el N y K (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009). El contenido de Mg en los frutos fue moderadamente deficiente y está asociado con el bajo contenido de Mg (110 a 138 mg kg⁻¹) y excesos de Ca en el suelo. El contenido de Cu fue moderado en el fruto y también en el suelo (0.56 a 0.61 mg kg⁻¹), esto indica que la aplicación de los fertilizantes químicos al suelo y al follaje, y la sanidad de los árboles provocan niveles normales de Cu en el fruto. El contenido de Fe, Zn, Mn y B en los frutos se consideraron de moderados a deficientes. Al desarrollarse los frutos sobre un suelo calcáreo,

pero, con suministro alto de Fe (6.44 a 23.2 mg kg⁻¹), bajo en Zn (0.15 a 0.72 mg kg⁻¹), moderado en Mn (1.01 a 1.74 mg kg⁻¹) y bajo en B (0.34 a 0.47 mg kg⁻¹), es de esperarse escasos de micronutrientes en órganos demandantes (Alcántar y Trejo-Téllez, 2009). Estos elementos también son escasos en las hojas de limón mexicano 'Colimex' (*C. aurantifolia*) afectados por HLB (Manzanilla-Ramírez et al., 2019), similar a lo ocurrido en los frutos de naranja 'Marrs' (*C. sinensis*). Además, se presentó una sequía atípica durante el desarrollo del fruto, misma que causó estrés hídrico persistente. En esta condición se afecta la disponibilidad, absorción y translocación de nutrimentos a los sitios de demanda (Srisvastava, 2012), provocando el bajo contenido del N, K, Mg, Fe, Zn, Mn y B en el fruto.

CONCLUSIONES

Los índices DOP permitieron detectar el estatus nutrimental de los árboles de naranjo 'Marrs', en los tres grados de síntomas asociados a VTC y HLB, en ambas partes del terreno. En los árboles asintomáticos los nutrimentos más limitantes según el ORN, fueron Zn > Mn > Cu > B > P > Mg > K > S en la parte baja y, Zn > Mn > Cu > P > Mg > B > Fe > N > S en la parte alta del terreno. En los árboles con síntomas ligeros y avanzados el ORN fue similar al de los asintomáticos, siendo el Zn, Mn, Cu, P, B y Mg los más requeridos, por tanto, esta herramienta es de gran utilidad.

Los tratamientos de fertilización aplicada al suelo y foliar, tuvieron un efecto benéfico en general pero diferenciado en órganos y momentos de evaluación. La fertilización química foliar promovió el desarrollo de brotes vegetativos asintomáticos durante la floración y amarre de fruto; pero, fue afectada por una sequía atípica durante la fructificación, lo que provocó síntomas por deficiencia de Zn y Mn en hojas nuevas, que se combinaron con los síntomas comunes de VTC y HLB.

La fertilización combinada al suelo y química foliar, aún en las condiciones restrictivas de humedad generaron al final una remisión de síntomas de deficiencias nutricionales, que se asocian en varios casos a los efectos de las enfermedades de VTC y HLB, presentando hojas con coloración verde normal.

En los frutos el contenido de N fue deficiente, el contenido de P fue inconsistente en la parte baja del terreno fue deficiente y en la parte alta en exceso. El grado de síntoma asociado a VTC y HLB afectó el contenido de Mg en la parte baja y el de Cu en la parte alta del terreno. En general los frutos presentaron composición mineral deficiente con excepción del P, Ca y Cu. Pero aún en condiciones restrictivas de humedad que afectó significativamente la absorción y traslocación de nutrimentos los frutos alcanzaron su madurez fisiológica y comercial.

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.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, recursos, curación de datos, escritura: preparación del borrador original, escritura: revisión y edición, visualización, supervisión, administración del proyecto, adquisición de fondos: L.M.H.M., A.V.M., J.I.C.F., J.A.M.A. y E.G.P.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, en particular al programa de maestría en Fruticultura por la formación y apoyos para el proyecto de investigación del primer autor. Al CONAHCYT por la beca para estudios de maestría del primer autor. Al Sr. Samuel Pacheco productor cooperante de Rancho Nuevo, Cazones de Herrera, Veracruz.

LITERATURA CITADA

- Achor, D. S., Etxeberria, E., Wang, N., Folimonova, S. Y., Chung, K. R., & Albrigo G. (2010). Sequence of anatomical symptom observations in citrus affected with Huanglongbing disease. *Plant Pathology Journal*, 9, 56-64.
- Alcántar, G. G., & Trejo T. L. (2009). *Nutrición de cultivos*. Mexico: Mundi-Prensa. ISBN: 978-968-7462-48-6
- Arce-Leal, Á. P., Leyva-López, N. E., Santos-Cervantes, M. E., Rodríguez-Negrete, E. A., Méndez-Lozano, J., Manzanilla-Ramírez, M. Á., & Perea-Flores, M. J. (2019). Cambios en el metabolismo de carbohidratos asociados a la infección por *Candidatus Liberibacter asiaticus* en limón mexicano (*Citrus aurantifolia*). *Agrociencia*, 53(4), 593-604.
- Beozzo, R. B. (2016). Nutrición y HLB. Newsletter Afinoa, *La Ciencia al Servicio del Citrus*, 11, 1-6.
- Cao, J., Cheng, C., Yang, J., & Wang, Q. (2015). Pathogen infection drives patterns of nutrient resorption in citrus plants. *Scientific Reports*, 5(1), 14675. <https://doi.org/10.1038/srep14675>
- Contreras, M. R., Ovando, B. E., & Villegas, M. A. (2019). Presencia de *Citrus tristeza virus* tipo VT en la región centro-norte de Veracruz, México. En V. J. C. Vinay, V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., R. Zetina L., A. Ríos U., M. V. Vázquez H., A. L. Del Ángel P., & C. Perdomo M. (Eds.). *Avances de investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquera, desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático* (pp. 2296-2312). Medellín, Veracruz, México: INIFAP-CP- UACH-INAPESCA-UV-TecNM.
- Cuéllar, N. A. (2016). *Cultivo y explotación de cítricos*. Bogotá, Colombia: Grupo Latino Editores S.A.S. ISBN: 978-958-736-030-1
- Czech, A., Zarycka, E., Yanovych, D., Zasadna, Z., Grzegorzczak, I., & Klys, S. (2020). Mineral content of the pulp and peel of various citrus fruit cultivars. *Biological Trace Element Research*, 193, 555-563.
- Esquivel-Chávez, F., Valdovinos-Ponce, G., Mora-Aguilera, G., Gómez-Jaimes, R., Velázquez-Monreal, J. J., Manzanilla-Ramírez, M. Á., ... & López-Arroyo, J. I. (2012). Análisis histológico foliar de cítricos agrios y naranja dulce con síntomas ocasionados por *Candidatus Liberibacter asiaticus*. *Agrociencia*, 46(8), 769-782.
- FONTAGRO (2021). *Monitoreo del HLB, su vector y otras plagas y enfermedades de los cítricos. Módulo 3: Enfermedad HLB (Huanglongbing) y su vector (Diaphorina citri)*. Buenos Aires, Argentina: INTA-PROCADIS-FONTAGRO.
- Fu, S., Shao, J., Paul, C., Zhou, C., & Hartung, J. S. (2017). Transcriptional analysis of sweet orange trees co-infected with 'Candidatus Liberibacter asiaticus' and mild or severe strains of Citrus tristeza virus. *BMC Genomics*, 18, 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-4174-8>
- Hamido, D. A., Ebel, R. C., & Morgan, K. T. (2019). Interaction of Huanglongbing and foliar applications of copper on water relations of Citrus sinensis cv. Valencia. *Plants*, 8, 1-17. <https://doi.org/10.3390/plants8090298>
- Hernández, F. L. M., Urías, L. M. A., Gómez, J. R., López, J. I., Velázquez, J. J., & Orozco, S. M. (2014). *El Huanglongbing y su vector Diaphorina citri en Limón Persa en Nayarit: Recomendaciones para su Manejo*. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México: Talleres Gráficos de Prometeo Editores. INIFAP.
- Hernández-Morales, L. M., García-Pérez, E., Cortés-Flores, J. I., Villegas-Monter, A., & Mora-Aguilera, J. A. (2023). Fertilización integral en árboles de naranjo 'Marrs' en producción con síntomas de virus de la tristeza de los cítricos (VTC) y huanglongbing (HLB). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(1), 59-66. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.1.59>
- Lacroix, C., Seabloom, E. W., & Borer, E. T. (2017). Environmental nutrient supply directly alters plant traits but indirectly determines virus growth rate. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2116. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02116>
- Manzanilla-Ramírez, M. A., Villegas M., A., Velázquez M., J. J., Zavaleta M., H. A., Sandoval V., M., & Muñoz O., A. (2019). Cambios fisiológicos en árboles de limón mexicano en producción infectados con HLB. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10, 1603-1614.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2010). *Tablas de composición de alimentos*. Madrid, España: Editorial Pirámide.
- Morgan, K. T., Kadyampakeni, D. M., Zekri, M., Schumann, A. W., Vashisth, T., & Obreza, T. A. (2018). *Nutrition management for citrus trees (SS478)*. Gainesville, FL, USA: University of Florida.
- Müller, G. W., Penteado, N. T. M. L., Alves, C. S., Alves de Souza, A., & Verle, R. J. C. (2005). Doenças de citros causadas por vírus e viróides. In: D. M. Junior, J. D. D. Negri, R. M. Pio, & J. P. Junior (Eds.). *CITROS* São Paulo, Brazil: Intermedia Produções Gráficas.
- NOM-021-SEMARNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). (2002). 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.
- Obreza, T. A., & Morgan, K. T. (2017a). *Nutrition of Florida Citrus Trees*. Gainesville, FL, USA: Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS) - Department of Soil and Water Sciences.
- Obreza, T. A., Zekri, M., & Futch, S. H. (2017b). *General soil fertility and citrus tree nutrition*. En: Obreza T. A., & Morgan, K. T. (Eds.). *Nutrition of Florida citrus trees*. Gainesville, FL, USA: University of Florida.
- Quiroga-Cardona, J., Hernández-Parrado, F. L., Silva-Herrera, M. Del R., & Orduz-Rodríguez, J. O. (2010). Comportamiento de la producción de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka), injertada sobre patrón de Mandarina Cleopatra (*Citrus reticulata* Blanco) y la influencia del virus de la tristeza (CTV) en condiciones del piedemonte del Meta. *Orinoquia*, 14(1), 5-15.
- Ramírez, D., Chaparro, J., Wright, A., Boman, B., Gruber, B., Ritenour, M. A., & Marino, S. (2016). Mitigation of Huanglongbing effects on grapefruit trees using enhanced nutritional programs. In *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* (pp. 51-55). Gainesville, FL, USA: Florida State Horticultural Society.
- SAS Institute. (2018). *Statistical Analysis System SAS/STAT User's Guide. version 9.4*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Schumann, A. (2009). Potential use of DRIS for leaf nutrient diagnosis in Florida citrus. *Citrus Industry*, 90, 1-10.
- Schumann, A., Waldo, L., Vashisth, T., Wright, A., & Morgan, K. (2019). Critical leaf nutrient thresholds to diagnose deficiencies in HLB trees. Gainesville, Florida, USA: AgNet Media Inc.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2018). *Producción anual. Cierre de la producción agrícola por cultivo*. Consultada el 20 de enero, 2021, desde www.siap.gob.mx.
- Srisvastava, A. K. (2012). *Advances in Citrus Nutrition*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Timothy, M. S., & Schumann A. W. (2009). Citrus greening-associated nutrient deficiency. *Citrus Industry*, 90, 14-16.

- Ventura-Ulloa, F., Salgado-García, S., Castelán-Estrada, M., Palma-López, D. L., Rivera-Cruz, M. C., & Sánchez-García, P. (2012). Métodos de interpretación del análisis nutrimental en naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Terra Latinoamericana*, 30(2), 139-145.
- Villegas-Monter, A., & Mora-Aguilera, A. M. (2011). Avances de la fruticultura en México. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 179-186. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500021>
- Xia, Y., Ouyang, G., Sequeira, R. A., Takeuchi, Y., Baez, I., & Chen, J. (2011). A review of huanglongbing (*citrus greening*) management in citrus using nutritional approaches in China. *Plant Health Progress*, 12(1), 24. <https://doi.org/10.1094/PHP-2010-1003-01-RV>
- Xing-Zheng, F., Xie, F., Cao, L., Li-Li, L., Chang-Ping, C., & Liang-Zhi, P. (2019). Changes in mineral nutrition during fruit growth and development of 'Seike' and 'Newhall' navel orange as a guide for fertilization. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41, 1-11.
- Zhao, H., Sun, R., Albrecht, U., Padmanabhan, C., Wang, A., Coffey, M. D., ... & Jin, H. (2013). Small RNA profiling reveals phosphorus deficiency as a contributing factor in symptom expression for citrus huanglongbing disease. *Molecular Plant*, 6(2), 301-310.