

DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL Y VALIDACIÓN DE DOSIS DE FERTILIZACIÓN PARA LIMÓN PERSA

Nutritional Diagnosis and Validation of the Fertilization Dosage for Persian Lime

R. Maldonado T.¹, G. Almaguer V.^{2†}, M. E. Álvarez S.¹ y E. Robledo S.¹

RESUMEN

El bajo rendimiento promedio de 7 Mg ha⁻¹ que obtienen aproximadamente el 70% de los productores de limón Persa (*Citrus latifolia* Tan.), en la región norte de Veracruz, México, en comparación con el obtenido en Florida, EE. UU., de 21 Mg ha⁻¹, es atribuido principalmente al manejo inadecuado de la fertilización de las plantaciones. Para contribuir a solucionar este problema, en un huerto localizado en el ejido Chavarrillo, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz, se estudiaron cuatro tratamientos de fertilización por restitución de nutrimentos deficientes, de acuerdo con la metodología de Etchevers y se compararon con un testigo absoluto y una fórmula regional; esta última contenía más del doble de nitrógeno (N) que las fórmulas propuestas. Los datos para los tratamientos de fertilización por restitución se derivaron del análisis de suelos de la huerta y de los requerimientos nutrimentales del limón Persa y se validaron con diagnósticos foliares interpretados con los métodos DRIS y Kenworthy. Los árboles del tratamiento de la fórmula generada por restitución, multiplicada por 1.5 (lo estimado en una aplicación), tuvieron una producción de fruta de 22.6 Mg ha⁻¹, con diferencias significativas con relación a los árboles testigo, con el cual se obtuvieron 14.3 Mg ha⁻¹ de fruta. Los árboles tratados con la fórmula regional produjeron 16.2 Mg ha⁻¹ de fruta. La calidad del fruto (color, diámetro ecuatorial, jugo, bagazo y acidez) no fue modificada por los tratamientos estudiados. Sólo la concentración nutrimental de N y Zn en las hojas aumentó en forma significativa por las fórmulas de restitución.

Palabras clave: *Citrus latifolia* Tan., cítricos, nutrición.

¹ Departamento de Suelos, ²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México.

[†] Autor responsable (almaguervargas@hotmail.com)

SUMMARY

Almost 70% of the Persian lime (*Citrus latifolia* Tan.) growers in Northern Veracruz, Mexico obtain a low mean yield of approximately 7 Mg ha⁻¹, while those in Florida, USA produce an average of 21 Mg ha⁻¹. This is largely due to improper management of the fertilization in the orchards. To provide a solution to this problem, in an orchard located in the common land (ejido) Chavarrillo located in the municipality of Emiliano Zapata in Veracruz, based on the method proposed by Etchevers, four restorative fertilization formulas were established and validated, then compared with the absolute and regional control treatments. The regional control had almost twice the nitrogen dosage than the proposed treatments. Data needed to calculate restoration treatments were derived from analysis of orchard soil and from nutrient requirements of Persian lime. This data were validated with the DRIS and Kenworthy diagnostic methods. Trees fertilized with the restitution formula multiplied by 1.5 (estimated in one application) yielded 22.6 Mg ha⁻¹ of fruit, significantly higher than the mean yield of 14.2 Mg ha⁻¹ corresponding to the control trees. Trees treated with the regional formula produced 16.2 Mg ha⁻¹ of fruit. Fruit quality (color, equatorial diameter, juice, waste pulp, and acidity) was not modified by the studied treatments. Only the nutrient concentration of N and Zn in the leaves increased significantly by the restitution method.

Index words: *Citrus latifolia* Tan., citrus, plant nutrition.

INTRODUCCIÓN

El rendimiento bajo y la calidad reducida del limón Persa en la región de Martínez de la Torre, Veracruz, México, se atribuye principalmente al inadecuado manejo de la nutrición mineral de los huertos. Alrededor del 70% de los productores de limón Persa de esta región alcanzan rendimientos promedios de 7 Mg ha⁻¹, el 30% obtienen rendimientos de 14 Mg ha⁻¹ y sólo el 1% produce

aproximadamente 20 Mg ha⁻¹. Florida, EE. UU., registra rendimientos de fruta promedio de 25 Mg ha⁻¹ (Gómez *et al.*, 1994; Schwentesius y Gómez, 2005). En 2004, el rendimiento promedio de limón Persa en Veracruz fue de 14.8 Mg ha⁻¹ (FUMIAF, 2005).

A pesar de este problema, el estado de Veracruz es el principal productor de limón Persa en México con 56.76% de la superficie total del país (FUMIAF, 2005). Según Curti *et al.* (2000) no existen resultados experimentales que permitan precisar las dosis y épocas de aplicación de fertilizantes que consideren la demanda, el estado nutrimental del cultivo y el suministro de nutrimentos que corresponda al tipo de suelo. Al respecto, se han propuesto métodos para estimar la dosis de fertilizantes en función de la demanda del cultivo suministro del suelo, así como la eficiencia del fertilizante en condiciones específicas de manejo del cultivo. Estos métodos establecen que cuando la cantidad de nutrimentos suministrada por el suelo es inferior a la demandada por el cultivo para alcanzar un rendimiento específico, se precisa aplicar fertilizante (Etchevers, 1987; Szucs, 1997). De esta manera, la cantidad de nutrimentos extraídos por las plantas para producir fruto, follaje, tallos y raíces, son valores de importancia para determinar la cantidad de nutrimentos retirados de las reservas del suelo y por lo tanto, la cantidad de fertilizante que debe suministrarse.

Maldonado *et al.* (2001) mencionan que por cada tonelada de fruta de limón mexicano producida, se extraen las siguientes cantidades de macronutrimentos: 1.86 kg de N; 0.17 kg de P; 2.25 kg de K; 1.05 kg de Ca; 0.13 kg de Mg, mientras que de micronutrimentos: 1.34 g de S; 1.34 g de Mn; 4.47 g de Fe; 2.82 g de Zn; 3.44 g de Cu y 3.3 g de B.

Por otra parte, se han propuesto índices de balance para interpretar los análisis foliares y tener una base científica para confirmar la recomendación de fertilizantes. El Índice de Balance Kenworthy define su valor estándar como la media de la concentración nutrimental de hojas muestreadas en un estado particular de árboles con un desarrollo hortícola deseable. Para generar dicho valor estándar, se selecciona el 10% o más de una población que exhiba un atributo deseado (por ejemplo, rendimientos elevados) y un coeficiente de variación (CV) menor de 34%. Las concentraciones nutrimentales en una muestra se expresan como porcentaje del valor estándar y se ajustan mediante el CV del estándar (Kenworthy, 1967).

El sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS) para la interpretación del análisis del tejido es un método que se basa en las relaciones entre nutrimentos en lugar de concentraciones absolutas e individuales (Walworth y Sumner, 1987). Este sistema expresa los resultados del diagnóstico nutrimental mediante índices representados en una escala numérica positiva o negativa que indica el exceso o la deficiencia, respectivamente; el más cercano a cero indica un estado de mayor equilibrio o balance (Walworth y Sumner, 1987).

El DRIS parte de las siguientes premisas: (a) las relaciones entre nutrimentos son mejores indicadores de deficiencia que los valores individuales de concentración; (b) algunas relaciones son más importantes o significativas que otras; (c) la producción máxima se alcanzan únicamente cuando las relaciones nutrimentales más importantes están cerca del valor ideal u óptimo, que se obtienen de poblaciones con rendimientos altos; (d) la variación de una relación nutrimental es pequeña en poblaciones de alto rendimiento y viceversa; (e) los índices DRIS se calculan para cada nutrimento, mediante la desviación media del cociente obtenida de la comparación con el valor óptimo de un cociente nutrimental dado, siendo el valor ideal del índice DRIS cercano a cero (Beverly *et al.*, 1984; Walworth y Sumner, 1987).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es generar fórmulas de fertilización para evaluar sus efectos en el rendimiento y la calidad del limón Persa, usando el método de restitución de nutrimentos deficientes y datos obtenidos del diagnóstico nutrimental de suelo, posteriormente validados con el foliar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el ejido Chavarrillo, municipio Emiliano Zapata, Veracruz, ubicado a una altitud de 850 m, a 19° 25.4' N y 96° 47.6' O. La región de estudio tiene un clima (A) C (m) semicálido con abundante lluvia en verano y con precipitación del mes más seco menor que 40 mm, y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 mm (FUMIAF, 2005).

Se utilizaron árboles de limón Persa (*Citrus latifolia* Tan.), injertados en naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.), de 11 años de edad, plantados a 4.5 m en marco real, con densidad de 493 árboles ha⁻¹. La huerta se ha manejado de manera tradicional con aplicaciones al suelo de 1.5 kg de CaCO₃, 1.0 kg de gallinaza y 1.0 kg de (NH₂)₂CO por árbol ha⁻¹ año⁻¹ el control de maleza

ha sido manual, mediante labores (dos con machete y uno con azadón), y no se ha realizado poda ni control de plagas y enfermedades. El rendimiento promedio con este sistema ha sido de 14.3 Mg ha⁻¹, es decir, un nivel medio.

En la huerta se seleccionaron de manera aleatoria 25 sitios de muestreo, ubicados en las zonas de goteo de los árboles (1.3 m de distancia de la base del tronco). En cada sitio de muestreo se extrajo una submuestra de 50 g de suelo a una profundidad de 0 a 30 cm con una barrena de acero inoxidable; considerando que fueron 25 sitios, se obtuvieron 1.25 kg de suelo en el muestreo; posteriormente se dividió la muestra en cuatro partes, desechándose dos partes opuestas, hasta lograr una muestra de 300 g, la cual se envió al laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. Siguiendo la metodología propuesta por Etchevers (2001), se determinaron las siguientes características: textura por el método de Bouyoucos; materia orgánica por el método de Walkley y Black; pH relación 1:2 suelo-agua con potenciómetro; conductividad eléctrica leída en el extracto para pH con el aparato Hanna Modelo 991201, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables extraídos con acetato de amonio 1.0 N pH 7.0. N por el método Kjeldahl; P por el método Bray; K por espectrofotometría de emisión de flama; Ca y Mg por volumetría (EDTA 0.01 N). Fe, Cu, Zn y Mn fueron extraídos mediante digestión húmeda y leídos en espectrofotómetro de absorción atómica. El B fue determinado por el método de la azometina-H. Los resultados se utilizaron para generar los tratamientos del presente trabajo, en función de la metodología planteada por Etchevers (1987).

Se realizaron tres muestreos foliares en 25 árboles seleccionados al azar en una hectárea con base en las principales fases fenológicas del limón Persa. El primero se realizó cuando los árboles se encontraban en estado vegetativo, previo a la fertilización, es decir, en enero de 2003, para conocer el estado nutrimental inicial. El segundo se efectuó en marzo, cuando el árbol se encontraba en floración y crecimiento de fruto, y el último se realizó en julio, al finalizar el crecimiento de fruto y fructificación (Malavolta y Netto, 1989).

De cada uno de los 25 árboles seleccionados, se colectaron 100 hojas por árbol (ubicadas en la quinta posición a partir del ápice) sanas, sin daño físico, químico o biológico, de ramas bien iluminadas, ubicadas en los cuatro puntos cardinales y a una altura media de 2 m a partir de la superficie del suelo.

Las hojas se colocaron en bolsas de papel y se transportaron en una hielera hasta su ingreso al laboratorio, se lavaron, se secaron a 70 °C hasta peso constante y se procesaron en molino de acero inoxidable con malla 40. Se tomaron 0.5 g del tejido seco y molido; posteriormente, se colocaron en matraz de digestión con 4 mL de mezcla diácida (4:1 de ácido sulfúrico y ácido perclórico), más 2 mL de peróxido de hidrógeno (agua oxigenada al 30%) para acelerar la reacción y después el matraz se colocó en una estufa de digestión Lindenberg SB a 260 °C, hasta que se obtuvo un extracto (digerido) transparente y cristalino que se aforó con agua a 50 mL. De este extracto se obtuvieron las concentraciones para los análisis posteriores de nutrimentos por los métodos siguientes (Etchevers, 2001): N por el método Kjeldahl; P por fotolorimetría de vanadato-molibdato (amarillo) leído en espectrofotómetro Spectronic 20; K por flamometría leído en flamómetro Corning modelo 410; Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn fueron determinados en un espectrofotómetro de absorción atómica; boro fue determinado por el método de la azometina-H. Los resultados de los análisis foliares se interpretaron mediante la técnica de Kenworthy utilizando intervalos de concentración para limón Persa propuestos por Benton *et al.* (1991) y los coeficientes de variación para limón mexicano establecidos por Maldonado (1999).

Con los índices de balance Kenworthy se elaboró el diagnóstico por tratamiento con valores de escasez (17 a 50), abajo del normal (50 a 83), normal (83 a 117), arriba del normal (117 a 150) y exceso (150 a 183) (Kenworthy, 1967).

Para el diagnóstico mediante el DRIS se utilizaron los valores de referencia propuestos para naranja por Beverly *et al.* (1984), debido a que no existen para limón Persa.

Los tratamientos se generaron a partir de la fórmula propuesta por Etchevers (1987): dosis de fertilización requerida por el cultivo = f [requerimiento nutrimental del cultivo (a) menos la disponibilidad de nutrimentos en el suelo (b), con relación a la eficiencia de los fertilizantes (c)].

a) El requerimiento nutrimental del cultivo se calculó al considerar la extracción por tonelada de fruta que se cosecha, con una producción esperada de 15 Mg ha⁻¹, la inversión que hace la planta para la generación y el mantenimiento de órganos y la eficiencia de los fertilizantes.

b) Para sustituir la disponibilidad de nutrimentos, se utilizaron los resultados obtenidos del análisis del suelo

de la huerta (Cuadro 1). Se transformó la cantidad de nutrimento por kg de suelo, en kg de nutrimento por hectárea.

c) Posteriormente, se calculó la dosis de fertilización tomando en cuenta los incisos a y b; se consideró también la eficiencia de los fertilizantes y el resultado fue: 310 g árbol⁻¹ de N, 242 de P₂O₅, 470 de K₂O y 8.52 de Zn, cantidades asignadas al Tratamiento 3; los otros tratamientos se generaron al fraccionar la aplicación (Tratamiento 4) o al aumentar en un 50% la dosis generada por restitución [Tratamiento 5 y 6 (fraccionada)].

Las fuentes de fertilizantes utilizadas fueron: KNO₃ (14-0-40); Ca(H₂PO₄)₂ (0-46-0); NH₄NO₃ (33.5-0-0) y ZnSO₄ (36%). La aplicación del fertilizante se realizó a una distancia de 1.5 m de la base del tronco conocida como zona de goteo del árbol y a una profundidad de 10 cm. Estos tratamientos fueron validados por los métodos DRIS y Kenworthy.

Variables Evaluadas

Se realizó el diagnóstico nutrimental foliar mediante el método Kenworthy (1967) y el DRIS (Walworth y Sumner, 1987) con el análisis foliar (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu) de cada tratamiento.

Se cosecharon todas las unidades experimentales. Los frutos se clasificaron en primera (> 83 mm), segunda (72-83 mm) y tercera (68-72 mm) categoría. Dentro de cada una se determinó el porcentaje de frutos maduros (NORMA PC-012-2004). En una muestra de 10 frutos por repetición de cada tratamiento se midió el color, diámetro ecuatorial, contenido de jugo, bagazo y acidez. El color del fruto se determinó mediante una carta de colores para tejido vegetal (Kollmorgen, 1977); el diámetro ecuatorial con un Vernier; con un exprimidor

casero se extrajo el jugo, el cual se midió y pesó con una probeta graduada y una balanza, respectivamente. La cantidad de bagazo se determinó mediante la diferencia del peso total. Con base en el peso total se calculó el porcentaje de jugo o bagazo correspondiente. La acidez de fruto se determinó en el momento de su extracción en una muestra de 2 mL de jugo, por titulación con NaOH, 1N, y se calculó mediante la siguiente fórmula (1 mL de jugo = 1.035 g):

Porcentaje de acidez =

$$\frac{(mL NaOH 1N)(0.06404 meq de C_6H_8O_7)(100)}{2.07 g de jugo}$$

El diseño experimental fue completamente al azar con seis repeticiones; la unidad experimental fue un árbol. Se practicaron análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) mediante el programa SAS versión 6.12 (SAS Institute, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Suelo

El resultado del análisis de fertilidad del suelo muestra que tanto el N inorgánico como el P y K tuvieron valores bajos (Cuadro 2). También se encontraron concentraciones excesivas de Fe, Mn y Cu, probablemente por ser un suelo medianamente ácido (Jackson, 1964); el Ca y Mg también tuvieron valores altos debido a la aplicación anual de 1.5 kg árbol⁻¹ de CaCO₃, realizada por el agricultor. La concentración de Zn y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) resultaron bajas.

Las relaciones Ca/Mg y Ca/K resultaron óptimas, mientras que las relaciones Mg/K y Ca+Mg/K fueron

Cuadro 1. Cantidad de nutrimentos suministrados por tratamiento.

Tratamiento [†]	Número de aplicaciones	Nutrimento			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn
		----- g árbol ⁻¹ -----			
T1 Testigo		0	0	0	0
T2 Dosis regional	1	828	0	0	0
T3 Estimado	1	310	242	470	8.52
T4 Estimado	2	310	242	470	8.52
T5 1.5 lo estimado	1	465	363	705	12.78
T6 1.5 lo estimado (fraccionada)	2	465	363	705	12.78

[†] T1 = testigo; T2 = dosis regional; T3 = fórmula estimada por restitución sin fraccionar; T4 = fórmula estimada por restitución fraccionada; T5 = fórmula estimada por restitución sin fraccionar, multiplicada por 1.5; T6 = fórmula estimada por restitución sin fraccionar, multiplicada por 1.

Cuadro 2. Valores de variables químicas, físicas y cantidad de nutrimentos en el suelo del huerto de limón 'Persa', en Emiliano Zapata, Ver. (2003).

Variable	Resultado	Interpretación	Autor
pH	5.71	Ácido medio	Jackson (1964)
Materia orgánica (%)	3.29	Medio	Ankerman y Large (1982)
N inórg (mg kg ⁻¹)	17.5	Bajo	Jackson (1964)
P (mg kg ⁻¹)	14.02	Bajo	Moreno (1992)
K (mg kg ⁻¹)	72	Bajo	Moreno (1992)
Ca (mg kg ⁻¹)	3597	Alto	Moreno (1992)
Mg (mg kg ⁻¹)	620	Alto	Moreno (1992)
Fe (mg kg ⁻¹)	67.39	Muy alto	Ankerman y Large (1982)
Zn (mg kg ⁻¹)	1.45	Bajo	Ankerman y Large (1982)
Mn (mg kg ⁻¹)	57.9	Muy alto	Ankerman y Large (1982)
Cu (mg kg ⁻¹)	3.04	Muy alto	Ankerman y Large (1982)
Capacidad de intercambio catiónico (cmol _c g ⁻¹)	14.64	Bajo	
Ca/Mg	3	Óptimo	
Ca/K	97	Óptimo	
Mg/K	27	Alto	
(Ca+Mg)/K	125	Alto	

altas, indicando posible deficiencia de K por efecto antagonico con Ca y Mg.

Diagnóstico Nutricional Foliar Inicial

En el Cuadro 3 se muestran los resultados del diagnóstico nutricional realizado en enero de 2003.

En el diagnóstico nutricional inicial, Kenworthy y DRIS coincidieron en clasificar como deficientes al P, K, Mg y Zn, mientras que el Ca, Cu y Fe se diagnosticaron como suficientes, pero hubo diferencias en la clasificación de N y Mn, posiblemente por los diferentes estándares que utilizan. En el análisis de suelo, el P, K y Zn también obtuvieron concentraciones bajas.

Por su parte, el Ca, Cu y Fe tuvieron valores de altos a muy altos en el análisis de suelo, y resultaron normales, arriba del normal o suficientes en el diagnóstico foliar. Asimismo, aunque el Mg resultó con alta cantidad en el análisis de suelo, en el diagnóstico foliar fue determinado abajo del normal o insuficiente, posiblemente por el efecto antagonico ejercido por el exceso de Ca; no se incluyó en los tratamientos porque se tuvo la información del análisis foliar después, porque solo se buscaba validar. El N resultó bajo en el suelo e insuficiente o cercano al balance con el diagnóstico foliar DRIS, debido posiblemente al estado vegetativo de reposo metabólico del árbol al momento de muestreo.

Cuadro 3. Diagnóstico nutricional foliar inicial (enero de 2003), en limón 'Persa' en Emiliano Zapata, Ver., por los métodos Kenworthy y el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS).

	Composición nutricional de la hoja									IBN [†]
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	
	----- % -----									
Concentración nutricional	2.76	0.05	1.03	2.55	0.27	186.2	58.2	28.8	58.7	
Indice de balance Kenworthy	102	53	65	85	61	121	69	67	102	725
Orden de requerimiento nutricional	P>Mg>K>Zn>Mn>				Ca>N>Cu>		Fe			
	Abajo del normal				Normal		Arriba del normal			
Indice de balance DRIS	-9	-50	-31	5	-13	40	19	57	-20	245
Orden de requerimiento nutricional	P>K>Zn>Mg>N				Ca>Cu>Fe>Mn					
	Deficiente				Suficiente					

[†] IBN = índice de balance nutricional.

Diagnóstico Nutricional Foliar en Floración

En el diagnóstico practicado a la muestra colectada durante la etapa de floración e inicio del crecimiento del fruto de limón Persa, mediante Kenworthy y DRIS (Cuadro 4), el orden de requerimiento nutricional (ORN) obtenido por DRIS, ubicó al Cu, Ca y Fe como los elementos más deficientes y al Mn, P, N, Mg, Zn y K como los menos requeridos en la mayoría de los tratamientos. El ORN obtenido a través del índice de balance Kenworthy (IBK) mostró al Zn, Ca, Cu, Fe y Mn como los más requeridos y al Mg, K, P y N como los menos deficientes. Los métodos de diagnóstico coincidieron en el orden de mayor limitación en Cu, Ca, y Fe, pero difirieron en Zn y Mn. En la etapa de floración ya se había aplicado el fertilizante con Zn en los tratamientos de restitución y lo más probable es que ya hubiera sido absorbido por la planta, por lo que la diferencia en interpretación del diagnóstico foliar de este elemento pudo deberse a las normas utilizadas en ambos métodos; los dos coincidieron en que los menos requeridos fueron N, P y K.

Diagnóstico Nutricional Foliar en Crecimiento de Fruto y Maduración de Fruto

En el Cuadro 5 se presenta el diagnóstico nutricional foliar de la etapa de crecimiento y maduración de fruto de limón Persa. En este muestreo el ORN obtenido por DRIS determinó al Cu, Ca, Fe y P como los más deficientes y al P, Mg, Zn y K como los menos requeridos en la mayoría de los tratamientos. Por su parte, el ORN obtenido a través del IBK indicó al Cu, Mn, Ca y Fe como los más requeridos y al Mg, Zn, K, P y N entre los menos deficientes. Los métodos de diagnóstico coincidieron en señalar a Cu, Ca y Fe como los de mayor limitación, y coincidieron que los menos requeridos fueron Mg, K y Zn y difirieron en Mn, quizá debido a que se utilizaron estándares de diferentes cultivos. Se observó que el índice de balance nutricional (IBN) determinado por DRIS disminuyó conforme se incrementó el rendimiento de fruto, mientras que el IBN determinado por el IBK mostró un aumento conforme se incrementó el rendimiento. De acuerdo con Walworth y Sumner (1987), valores pequeños de IBN significan un mayor balance nutricional y mayores rendimientos.

Cuadro 4. Diagnóstico nutricional foliar intermedio de limón 'Persa' en Emiliano Zapata, Ver., por los métodos Kenworthy y el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS).

Trata- miento		Composición nutricional de la hoja									ORN [¶]	IBN [#]
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn		
		----- % -----										
		----- mg kg ⁻¹ -----										
1	CN [†]	1.82	0.20	1.13	0.76	0.23	34.1	7.6	12.5	22.4		
	IBK [‡]	75	81	69	50	65	63	49	49	46	Zn>Cu>Mn>Ca>Fe>Mg>K>N>P	547
	DRIS [§]	9	20	80	-70	19	-8	-155	13	31	Cu>Ca>Fe>N>Mn>Mg>P>Zn>K	405
2	CN	2.15	0.20	1.18	0.70	0.25	35.4	6.6	12.8	23.3		
	IBK	86	78.9	70.0	48	68	64	48	50	47	Zn>Ca=Cu>Mn>Fe>Mg>K>P>N	559
	DRIS	21	19	90	-85	30	-6	-187	16	34	Cu>Ca>Fe>Mn>K>N>Mg>Zn>P	488
3	CN	1.90	0.18	1.19	0.67	0.24	39.4	7.0	13.7	22.8		
	IBK	78	75	71	48	67	66	48	50	47	Zn>Ca=Cu>Mn>Fe>Mg>K>P>N	550
	DRIS	14	16	94	-92	26	-2	-175	18	35	Cu>Ca>Fe>N>P>Mn>Mg>Zn>K	472
4	CN	2.07	0.19	1.19	0.69	0.23	39.6	7.02	12.3	23.6		
	IBK	83	78.0	71	48	65	66	48	49	48	Zn=Ca=Cu>Mn>Mg>Fe>K>P>N	556
	DRIS	18	16	94	-86	20	-1	-175	14	35	Cu>Ca>Fe>Mn>P>N>Mg>Zn>K	459
5	CN	2.07	0.20	1.27	0.73	0.24	34.9	7.0	13.1	22.9		
	IBK	78.8	81	74	49	67	64	48	50	48	Zn=Cu>Ca>Mn>Fe>Mg>K>P>N	559
	DRIS	18	19	94	-79	21	-7	-178	16	32	Cu>Ca>Fe>Mn>N>P>Mg>Zn>K	464
6	CN	2.15	0.19	1.17	0.74	0.24	34.7	6.96	11.6	23.9		
	IBK	81	78	70	46.4	56	64	80	62	48	Zn=Cu>Mn>Ca>Fe>Mg>K>P>N	558
	DRIS	20	17	87	-76	23	-6	-176	11	34	Cu>Ca>Fe>Mn>P>N>Mg>Zn>K	450

[†] CN = concentración nutricional; [‡] IBK = índice de balance Kenworthy; [§] DRIS = índice de balance DRIS; [¶] ORN = orden de requerimiento nutricional; [#] IBN = índice de balance nutricional.

Cuadro 5. Diagnóstico nutrimental foliar final de limón Persa en Emiliano Zapata, Ver., por los métodos Kenworthy y el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS).

Trata- miento		Composición nutrimental de la hoja									ORN [†]	IBN [#]	Rendi- miento
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn			
		- - - - - % - - - - -											Mg ha ⁻¹
1	CN [†]	3.04	0.12	1.56	0.74	0.26	53.7	2.3	31.8	51			14.274
	IBK [‡]	120	57	86	50	68	74	40	64	73	Cu>Ca>P>Mn>Mg>Zn>Fe>K>N	632	
	DRIS [§]	17	-6	48	-118	12	-7	-116	59	73	Cu>Ca>Fe>P>Mg>N>K>Mn>Zn	456	
2	CN	3.41	0.18	1.56	1.01	0.29	55.2	1.4	19.5	55			16.174
	IBK	137	98	86	56	73	74	39	55	77	Cu>Mn>Ca>Mg>Fe>Zn>K>P>N	695	
	DRIS	21	11	65	-70	12	-1	-142	17	63	Cu>Ca>Fe>P>Mn>Mg>N>Zn>K	402	
3	CN	3.52	0.26	1.63	1.2	0.37	57.9	1.4	19	61			21.049
	IBK	142	98	89	62	77	76	39	55	83	Cu>Mn>Ca>Fe>Mg>Zn>K>P>N	721	
	DRIS	20	12	53	-54	27	1	-152	17	63	Cu>Ca>Fe>P>Mn>N>Mg>K>Zn	399	
4	CN	3.44	0.3	1.9	1.33	0.39	63.2	1.9	20.3	70			19.934
	IBK	138	115	100	65	86	86	39	55	91	Cu>Mn>Ca>Fe=Mg>Zn>K>P>N	775	
	DRIS	15	14	56	-49	25	3	-156	14	69	Cu>Ca>Fe>P=Mn>N>Mg>K>Zn	401	
5	CN	3.64	0.34	1.94	1.56	0.39	61.4	2.8	17.4	93			22.577
	IBK	148	134	103	71	86	86	41	53	120	Cu>Mn>Ca>Fe=Mg>K>Zn>P>N	842	
	DRIS	10	17	48	-40	20	1	-149	6	86	Cu>Ca>Fe>Mn>N>P>Mg>K>Zn	379	
6	CN	3.66	0.34	1.83	1.93	0.41	59.8	1.9	14.6	88			22.317
	IBK	149	134	97	80	88	88	40	51	112	Cu>Mn>Ca>Fe=Mg>K>Zn>P>N	839	
	DRIS	12	18	38	-19	26	2	-163	3	77	Cu>Ca>Fe>Mn>N>P>Mg>K>Zn	358	

[†] CN = concentración nutrimental; [‡] IBK = índice de balance Kenworthy; [§] DRIS = índice de balance DRIS; [¶] ORN = orden de requerimiento nutrimental; [#] IBN = índice de balance nutrimental.

Rendimiento y Variables de Calidad

Los tratamientos generados con base en el método propuesto por Etchevers (1987) propiciaron los mayores rendimientos (más de un 30%), con relación al testigo absoluto y al testigo regional (Cuadro 6). Cabe señalar que los árboles del testigo regional recibieron casi el doble de la dosis de N que los tratamientos propuestos.

Curti *et al.* (2000) han propuesto para el limón Persa aplicar anualmente 1500 g de N + 500 g de P + 750 g de K por árbol en la zona norte de Veracruz. Con los tratamientos 3 y 4 se aplicaron 310-242-470 g de N-P-K por árbol y se obtuvieron buenos rendimientos. Esto indica que se debe aplicar lo que el árbol requiera en función del suelo en donde se encuentre, la edad del árbol, niveles productivos, etc., y no un exceso que, además de implicar un gasto adicional, puede contaminar acuíferos (Maldonado, 1999).

Para generar una dosis de fertilización adecuada, es necesario considerar la demanda nutrimental del cultivo, la eficiencia del fertilizante y la cantidad de nutrimentos disponible en el suelo (Etchevers, 1987).

En el Cuadro 6, se observa que los árboles de los tratamientos T3, T4, T5 y T6 alcanzaron rendimientos

estadísticamente iguales entre sí, aunque los dos últimos recibieron un 50% más de fertilizantes, lo que confirma la estimación adecuada que se hizo por el método de restitución.

La calidad del fruto evaluada a través de categorías, porcentaje de jugo, bagazo y diámetro ecuatorial no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, excepto para color y acidez.

Los frutos del tratamiento T5 mostraron un color verde más intenso, deseable desde el punto de vista de la calidad, en comparación con los obtenidos en el T1 (testigo). En acidez, el mayor nivel se obtuvo en los frutos del tratamiento T6 a diferencia de los del T2 (regional).

CONCLUSIONES

- Los árboles que recibieron la dosis de fertilización generada por el método de restitución, independientemente del número de aplicaciones, tuvieron el mayor rendimiento de fruto, debido a que eran 310 gramos por planta de nitrógeno, 242 de P₂O₅, 470 de K₂O y 8.52 de Zn, es decir, se suministraron las cantidades de fertilizantes que requería el árbol.

Cuadro 6. Variables de rendimiento y calidad de fruta de limón 'Persa' en respuesta a los tratamientos de fertilización aplicados en Emiliano Zapata, Ver.

Tratamiento	Rendimiento	Categoría (Calidad de fruta)			Color	Acidez
		1	2	3		
	Mg ha ⁻¹ año ⁻¹	----- % -----				
1	14.3 c [†]	34.92 a	60.22 a	4.85 a	10.1 b	6.4 b
2	16.2 bc	37.94 a	56.05 a	5.98 a	11.7 ab	6.6 b
3	21.1 a	42.77 a	50.68 a	6.51 a	12.3 ab	6.9 ab
4	19.9 a	43.27 a	48.78 a	7.93 a	12.1 ab	6.8 ab
5	22.6 a	44.76 a	47.66 a	7.55 a	12.6 a	6.9 ab
6	22.3 a	46.76 a	46.05 a	7.17 a	12.5 ab	7.3 a
DMS (0.05)	4.4	22.32	25.1	7.61	2.5	0.6
CV	11.7	17.3	14.88	18.39	10.7	5

[†] Variables con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \geq 0.05$.

DMS = diferencia mínima significativa; CV = coeficiente de variación. No se pusieron los datos de jugo, bagazo y diámetro ecuatorial, porque no tuvieron diferencias estadísticas significativas.

- En la mayoría de los tratamientos se realizó el diagnóstico foliar durante la etapa de crecimiento y llenado del fruto de limón Persa. En él se identificaron, mediante el método Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación, al cobre, calcio, hierro y fósforo como los más deficientes, mientras que al magnesio, zinc y potasio, como los menos requeridos. Con el método Kenworthy se estableció que el cobre, manganeso, calcio y hierro son los más requeridos, mientras que el magnesio, zinc, potasio, fósforo y nitrógeno son los menos deficientes.

- Ambos métodos coincidieron en señalar al cobre, calcio y hierro entre los de mayor limitación, pero difirieron en manganeso, mientras que los menos requeridos fueron magnesio, potasio y zinc.

- El tamaño de fruto, porcentaje de jugo, bagazo y diámetro ecuatorial no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

LITERATURA CITADA

- Ankerman, D. and R. Large. 1982. Agronomy handbook. Midwest Laboratories. Omaha, NE, USA.
- Benton, J. J., B. Wolf, and H. Mills. 1991. Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Publishing. Athens, GA, USA.
- Beverly, R. B., J. C. Stark, J. C. Ojala, and T. W. Embleton. 1984. Nutrient diagnosis of 'Valencia' oranges by DRIS. J. Am. Soc. Hort. Sci. 109: 649-654.
- Curti Díaz, S. A., X. Loredó Salazar, U. Díaz Zorrilla, J. A. Sandoval R. y J. Hernández H. 2000. Tecnología para producir limón persa. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Ixtacuaco. Libro Técnico 8. Veracruz, México.
- Etchevers B., J. 1987. Diagnóstico visual. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México.
- Etchevers B., J. 2001. Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelos y plantas del laboratorio de fertilidad de suelos. IRENAT. Colegio de Posgraduados. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Montecillo, Estado de México.
- FUMIAF (Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal). 2005. Plan de negocios para el cultivo del limón Persa en México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D. F.
- Gómez C., M. A., R. Schwentesius R. y G. Barrera A. 1994. El limón Persa en México, una opción para el trópico. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Jackson, M. L. 1964. Análisis químico de suelos. Editorial Omega. Barcelona, España.
- Kenworthy, A. L. 1967. Plant analysis and interpretation for horticulture crops. pp. 59-75. In: G. W. Hardy (ed.). Plant analysis. Special Publication 2. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Kollmorgen, C. 1977. Munsell color for plant tissues. 2a ed. Munsell Color. Baltimore, MD, USA.
- Malavolta, E. e V. Netto A. 1989. Nutricio mineral, calagem, gessagem e adubacao dos citros. Piracicaba. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Sao Paulo, Brasil.
- Maldonado T., R. 1999. El diagnóstico nutrimental en la producción de limón mexicano. Fundación Produce Michoacán y Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México.
- Maldonado T., R., J. D. Etchevers B., G. Alcántar G., J. Rodríguez A. y M. T. Colinas L. 2001. Estado nutrimental del limón mexicano en suelos calcimórficos. Terra 19: 163-174.
- Moreno D., R. 1992. Clasificación de suelo en base a su análisis químico. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- NORMA PC-012-2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Bancomext-Secretaría de Economía. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad selecta en limón Persa. México, D. F.

- SAS Institute. 1988. SAS-STAT user's guide. Release 6.03. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Schwentenius R., R. y M. A. Gómez C. 2005. Limón Persa. Tendencias en el mercado mexicano. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Szucs, H. 1997. Possibilities to meet nutritional requirements of fruit trees and environmental protection. *Acta Hortic.* 448: 433-436.
- Walworth, J. L. and M. E. Sumner. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Adv. Soil Sci.* 6: 149-188.