

## Remoción de nutrientes por cosecha de limón persa en Nayarit y Veracruz, México\*

### Nutrient removal by Persian lemon harvest in Nayarit and Veracruz, Mexico

Adriana Mellado-Vázquez<sup>1§</sup>, Samuel Salazar-García<sup>1</sup>, Arturo Álvarez-Bravo<sup>1</sup> y Carlos Hernández-Guerra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Internacional México-Nogales km 6, Entrada a Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. CP. 63300. Tel. 01(800) 0882222 y 01 (55) 38718700. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Ixtacuaco. Carretera Federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan km 4.5, Col. Rojo Gómez s/n, Tlapacoyan, Veracruz, México. Tel. 01 (800) 0882222. <sup>§</sup>Autora para correspondencia: mellado.adriana@inifap.gob.mx.

#### Resumen

Se desconoce la cantidad de nutrientes removidos por la cosecha del limón Persa, dato que puede contribuir al mejor manejo de la nutrición. El objetivo fue conocer la remoción de nutrientes por la cosecha de limón Persa en los flujos de floración de primavera e invierno 2013 en Nayarit, en huertos de temporal y riego, y en Veracruz en los flujos de floración de verano e invierno 2015, en dos huertos de temporal. En cada huerto se eligieron cinco árboles y se marcaron brotes de primavera, verano e invierno, Por árbol se cosecharon seis frutos en madurez fisiológica y en la materia seca se determinó la concentración de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn, B. En Nayarit, el riego favoreció la remoción de N y Zn y la interacción agua\*flujo de floración afectó la remoción de Ca. Los huertos de Nayarit deberán ser fertilizados con mayor cantidad de S en primavera y con más P, Mn y B en el invierno. Para mejorar la nutrición del limón Persa en Veracruz se deberá incluir la aplicación de P, Ca, Fe y Cu posterior a la cosecha precedente de la brotación de verano, así como la aplicación de N, Ca, Zn y B posterior a la cosecha precedente de la brotación de invierno.

#### Abstract

The amount of nutrients removed by the harvest of Persian lemon is unknown, a fact that can contribute to the better management of nutrition. The objective was to know the removal of nutrients by the Persian lemon crop in flowering flows of spring and winter 2013 in Nayarit, in orchards temporary and irrigation, and in Veracruz flowering summer and winter 2015, in two Temporary orchards. In each orchard five trees were chosen and buds were marked spring, summer and winter, By tree six fruits were harvested at physiological maturity and in the dry matter was determined the concentration of N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn, Zn, B. In Nayarit, the irrigation favored the removal of N and Zn and the interaction water\*flow of flowering affected the removal of Ca. The orchards of Nayarit should be fertilized with greater amount of S in spring and with more P, Mn and B in the winter. To improve the nutrition of Persian lemon in Veracruz, the application of P, Ca, Fe and Cu after the harvest from summer sprouting should be included, as well as the application of N, Ca, Zn and B after the harvest of winter sprouting.

**Palabras clave:** *Citrus latifolia* Tan., extracción de nutrimentos, flujos de floración.

**Keywords:** *Citrus latifolia* Tan., flowering flow, nutrient extraction.

## Introducción

La superficie plantada con limón Persa en México ha aumentado en los últimos diez años, de 47 902 ha a 88 824 ha (SIAP, 2016). Los estados con mayor superficie plantada son Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Jalisco, Yucatán y Nayarit. El rendimiento por unidad de superficie que se obtiene en Nayarit ( $8.12 \text{ t ha}^{-1}$ ) y en Veracruz ( $15.37 \text{ t ha}^{-1}$ ) (SIAP, 2016) es bajo, comparado con el rendimiento que se reporta en Florida ( $39 \text{ t ha}^{-1}$ ) (Malo *et al.*, 2015). Esto puede deberse a la densidad de plantación efectiva (árboles muertos, poco productivos, en desarrollo), a la baja producción derivada de una reducida capacidad fotosintética del árbol (daños por mancha grasienta, minador de la hoja, pulgones, psilidos), y a la baja producción de frutos por árbol (antracnosis, nutrición inadecuada) (Curti *et al.*, 2013), entre otras causas.

El manejo agronómico que se realiza en los huertos de limón Persa es contrastante entre estados productores. En Nayarit es poco intenso, las actividades que se realizan se enfocan principalmente a la nutrición. La aplicación de fertilizante se realiza una o dos veces por año, generalmente durante las lluvias, aunque en huertos con riego se fertiliza hasta en 4 ocasiones o más. Predomina la aplicación de fertilizante químico de la composición: 12 N, 8 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 16 K<sub>2</sub>O, 3 Mg, 0.06 Fe, 0.01 Zn y 0.02 B; 500 g por árbol, así como la aplicación de 12 N, 12 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 17 K<sub>2</sub>O, 2 Mg, 20 SO<sub>3</sub>, 0.01 Zn y 0.02 B; 600 g por árbol. En Veracruz el manejo es más intensivo, la fertilización se realiza con dos objetivos: incrementar el volumen de producción y calidad de los frutos en la producción invernal (manejo intensivo de septiembre a febrero, complementado con un manejo de mantenimiento de marzo a agosto) y producir frutos durante todo el año (mediante fertilizaciones foliares cada uno o dos meses y al suelo cada dos o cuatro meses).

Para manejar de manera eficiente la nutrición de los cultivos es necesario conocer la fertilidad del suelo y el estado nutricional de la planta (Salazar, 2002). Algunas técnicas de utilidad son el análisis físico y químico del suelo, el análisis nutrimental foliar (Alcántar y Trejo, 2009), el cálculo de la cantidad de nutrimentos removidos por la cosecha y los programas de fertilización.

## Introduction

The area planted with Persian lime in Mexico has increased in the last ten years, from 47 902 ha to 88 824 ha (SIAP, 2016). The states with the largest planted area are Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Jalisco, Yucatán and Nayarit. The yield per unit area obtained in Nayarit ( $8.12 \text{ t ha}^{-1}$ ) and in Veracruz ( $15.37 \text{ t ha}^{-1}$ ) (SIAP, 2016) is low, compared to the performance reported in Florida ( $39 \text{ t ha}^{-1}$ ) (Malo *et al.*, 2015). This may be due to the effective planting density (dead, underproductive, developing trees) to the low production derived from a reduced photosynthetic capacity of the tree (damage by greasy spot, leaf miner, aphids, psilids), and to the low fruit production per tree (anthracnose, inadequate nutrition) (Curti *et al.*, 2013), among other causes.

The agronomic management carried out in Persian lemon orchards is contrasting between producing states. In Nayarit it is not very intense, the activities that are carried out focus mainly on nutrition. The application of fertilizer is done once or twice a year, usually during the rains, although in orchards with irrigation it is fertilized up to 4 times or more. The application of chemical fertilizer of the composition predominates: 12 N, 8 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 16 K<sub>2</sub>O, 3 Mg, 0.06 Fe, 0.01 Zn and 0.02 B; 500 g per tree, as well as the application of 12 N, 12 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 17 K<sub>2</sub>O, 2 Mg, 20 SO<sub>3</sub>, 0.01 Zn and 0.02 B; 600 g per tree. In Veracruz, the management is more intensive, fertilization is carried out with two objectives: to increase the volume of production and quality of the fruits in the winter production (intensive management from September to February, supplemented with maintenance management from March to August) and produce fruits throughout the year (by foliar fertilization every one or two months and the soil every two or four months).

In order to efficiently manage the nutrition of the crops, it is necessary to know the soil fertility and the nutritional status of the plant (Salazar, 2002). Some useful techniques are the physical and chemical analysis of the soil, the foliar nutritional analysis (Alcantar and Trejo, 2009), the calculation of the amount of nutrients removed by the crop and the fertilization programs.

En diversos cítricos se ha determinado la concentración nutrimental en los frutos. En naranja ‘Tarocco’ en Italia, Rocuzzo *et al.* (2012) reportaron que los nutrimentos con mayor tasa de absorción anual fueron Ca, N, K, Mg y P, encontrándose la mayor cantidad de P y K en los frutos (54% y 58%, respectivamente). Para lima cv. Tahiti en Brasil se reportó la concentración mineral en cáscara (g 100 g<sup>-1</sup> peso fresco): 0.19 K, 0.21 Ca, 0.04 Mg, 0.05 Na, y (mg kg<sup>-1</sup> peso fresco), 0.77 Fe, 0.06 Cu, 0.18 Mn y 0.20 Zn; y en gajos (g 100 g<sup>-1</sup> peso fresco): 0.17 K, Trazas Ca, 0.01 Mg, 0.003 Na y (mg kg<sup>-1</sup> peso fresco), 0.17 Fe, 0.07 Cu, 0.04 Mn y 0.09 Zn (De Moraes *et al.*, 2012). Asimismo, en Brasil reportaron que la concentración de Ca en la cáscara de limón Persa fue de 0.64 g 100g<sup>-1</sup> y la concentración promedio de N, K y Ca en gajos de limón Persa fue (g 100g<sup>-1</sup>) 1.0, 1.46, y 0.75, respectivamente (Dirceu *et al.*, 2010).

La remoción de nutrimentos por la cosecha se calcula por el contenido nutrimental en los frutos (Mellado *et al.*, 2015). Para huertos de temporal de limón Persa en el estado de Nayarit se reportó que en primavera una tonelada de fruto removió (kg): 1.26 N, 0.13 P, 1.87 K, 1.19 Ca, 0.22 Mg, 0.12 S, 0.99 Na y (g) 2.59 Cl, 2.04 Fe, 0.52 Cu, 0.93 Mn, 1.06 Zn y 1.33 B mientras que 1 t producida en la invierno removió (kg): 1.6 N, 0.27 P, 2.10 K, 1 Ca, 0.26 Mg, 0.05 S, 1.3 Na, 1.53 Cl y (g) 2.92 Fe, 0.67 Cu, 1.5 Mn, 0.91 Zn y 3.15 B (Mellado *et al.*, 2015).

Actualmente en Nayarit y Veracruz no se tienen evidencias experimentales que definan los requerimientos nutrimentales del limón Persa, ni la época adecuada para la aplicación de nutrimentos que permitan tener mejores rendimientos, así como la calidad que demanda el mercado nacional e internacional. Asimismo, hace falta conocer si la remoción de nutrimentos por la cosecha es afectada por el riego y por el flujo de floración que da origen a la misma. El trabajo tuvo el objetivo de conocer la remoción de nutrimentos por la cosecha de limón Persa en los flujos de floración de primavera e invierno 2013 en Nayarit, en huertos de temporal y riego, y en Veracruz en los flujos de floración de verano e invierno 2015, en dos huertos de temporal.

## Materiales y métodos

### Características de los huertos y árboles

Se seleccionaron huertos de limón Persa en edad productiva en Nayarit y Veracruz. Algunas características de los huertos se presentan en el Cuadro 1.

In various citrus fruits nutritional concentration has been determined in fruits. In orange ‘Tarocco’ in Italy, Rocuzzo *et al.* (2012) reported that the nutrients with the highest annual absorption rate were Ca, N, K, Mg and P, with the highest amount of P and K in the fruits (54% and 58%, respectively). For lime cv. Tahiti in Brazil was reported the mineral concentration in shell (g 100 g<sup>-1</sup> fresh weight): 0.19 K, 0.21 Ca, 0.04 Mg, 0.05 Na, and (mg kg<sup>-1</sup> fresh weight), 0.77 Fe, 0.06 Cu, 0.18 Mn and 0.20 Zn; and in segments (g 100 g<sup>-1</sup> fresh weight): 0.17 K, Traces Ca, 0.01 Mg, 0.003 Na and (mg kg<sup>-1</sup> fresh weight), 0.17 Fe, 0.07 Cu, 0.04 Mn and 0.09 Zn (De Moraes *et al.*, 2012). Likewise, in Brazil they reported that the concentration of Ca in the Persian lemon peel was 0.64 g 100 g<sup>-1</sup> and the average concentration of N, K and Ca in segments of Persian lemon was (g 100 g<sup>-1</sup>) 1.0, 1.46, and 0.75, respectively (Dirceu *et al.*, 2010).

The removal of nutrients by the harvest is calculated starting from the nutritional content in the fruits (Mellado *et al.*, 2015). For orchards of Persian lemon in the state of Nayarit it was reported that in spring one ton of fruit removed (kg): 1.26 N, 0.13 P, 1.87 K, 1.19 Ca, 0.22 Mg, 0.12 S, 0.99 Na and (g) 2.59 Cl, 2.04 Fe, 0.52 Cu, 0.93 Mn, 1.06 Zn and 1.33 B while one ton produced in winter removed (kg): 1.60 N, 0.27 P, 2.10 K, 1 Ca, 0.26 Mg, 0.05 S, 1.30 Na, 1.53 Cl and (g) 2.92 Fe, 0.67 Cu, 1.50 Mn, 0.91 Zn and 3.15 B (Mellado *et al.*, 2015).

Currently in Nayarit and Veracruz there is no experimental evidence to define the nutritional requirements of the Persian lemon, nor the appropriate time for the application of nutrients that allow for better yields, as well as the quality demanded by the national and international market. Also, it is necessary to know if the removal of nutrients by the harvest is affected by the irrigation and the flow of flowering that gives rise to it. The work had the objective of knowing the removal of nutrients by the Persian lemon crop in the flowering flows of spring and winter 2013 in Nayarit, in orchards temporary and irrigation, and in Veracruz in flowering flowering summer and winter 2015, in two temporary orchards.

## Materials and methods

### Characteristics of orchards and trees

Persian lemon orchards of productive age were selected in Nayarit and Veracruz. Some characteristics of the orchards are presented in Table 1.

**Cuadro 1. Huertos incluidos en el presente estudio, ubicados en Nayarit y Veracruz, México.**  
**Table 1. Vegetables included in the present study, located in Nayarit and Veracruz, Mexico.**

Municipio	Huerto	Humedad	Árboles ha <sup>-1</sup>	Edad (años)	Latitud N	Longitud O
Nayarit (seleccionados en 2013)						
Tepic	Fortuna	Riego	156	10	21°33'26.08"	104°57'15.93"
Tepic	Cumbre	Temporal	156	10	21°29'17.3"	104°47'28.6"
Santa Ma. del Oro	Ocotillo	Temporal	178	5	21°12'51.8"	104°38'41.8"
Ahuacatlán	Tanque	Riego	178	7	21°01'33.07"	104°27'57.31"
Veracruz (seleccionados en 2015)						
San Rafael	Paso largo	Temporal	416	7	20° 08' 33.2"	97° 00' 59.5"
Mtz. de la Torre	Grupo exportador	Temporal	208	10	20°03' 17.2"	96° 59' 53.5"

En Nayarit se aplicó por árbol y al suelo 500 g de fertilizante químico de la composición: 12 N, 8 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 16 K<sub>2</sub>O, 3 Mg, 0.06 Fe, 0.01 Zn y 0.02 B. En Veracruz, en el huerto Paso Largo se aplicó de septiembre 2015 a febrero 2016 la siguiente fertilización (kg ha<sup>-1</sup>) 318 N, 61 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 42 K<sub>2</sub>O, 9 de Ca y 11 Mg. El huerto Grupo Exportador fue fertilizado de diciembre de 2015 a marzo de 2016 con (kg ha<sup>-1</sup>) 54.5 N, 20 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 K<sub>2</sub>O, 26.2 CaO, 34.5 MgO y 10 SO<sub>4</sub>. En cada huerto se seleccionaron cinco árboles sin deficiencias nutrimentales visibles y sin daño por plagas y enfermedades.

Flujos reproductivos seleccionados de los cinco árboles seleccionados por huerto, se marcaron con tiras plásticas, 50 brotes de diferentes flujos de crecimiento En los huertos de Nayarit se marcaron brotes de los flujos de primavera e invierno y en los de Veracruz se marcaron brotes de los flujos de verano e invierno.

Cosecha de frutos. En todos los huertos y para cada flujo, de cada árbol se cosecharon seis frutos. Los frutos se cosecharon en madurez fisiológica de acuerdo a lo establecido en la NMX-FF-077 (SECOFI, 1996).

### Procesamiento de frutos

De cada fruto se registró el peso fresco y se separaron en cáscara y gajos, para obtener su peso. Los tejidos se deshidrataron en un horno con aire forzado (Lab line 34887 Thomas Scientific, Madison, WI, USA), a 70 °C hasta lograr un peso constante. Se prepararon muestras compuestas por árbol de manera separada por componente del fruto y se analizaron en un laboratorio acreditado por el programa NAPT de la Soil Science Society of America.

In Nayarit, 500 g of chemical fertilizer of the composition was applied per tree and to the soil: 12 N, 8 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 16 K<sub>2</sub>O, 3 Mg, 0.06 Fe, 0.01 Zn and 0.02 B. In Veracruz, in the Paso Largo orchard, it was applied September 2015 to February 2016 the following fertilization (kg ha<sup>-1</sup>) 318 N, 61 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 42 K<sub>2</sub>O, 9 de Ca and 11 Mg. The Grupo Exportador garden was fertilized from December 2015 to March 2016 with (kg ha<sup>-1</sup>) 54.5 N, 20 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 K<sub>2</sub>O, 26.2 CaO, 34.5 MgO and 10 SO<sub>4</sub>. In each orchard, five trees were selected without visible nutrient deficiencies and without damage by pests and diseases.

Selected reproductive flows of the five trees selected by Orchard, were marked with plastic strips, 50 buds of different growth streams. In the orchards of Nayarit, buds of the spring and winter flows were marked and in those of Veracruz, buds of the flows were marked summer and winter.

Harvest of fruits. In all the orchards and for each flow, six fruits were harvested from each tree. The fruits were harvested at physiological maturity according to the provisions of NMX-FF-077 (SECOFI, 1996).

### Processing of fruits

Fresh weight was recorded from each fruit and separated in husk and segments to obtain its weight. The tissues were dehydrated in a forced air oven (Lab line 34887 Thomas Scientific, Madison, WI, USA), at 70 °C until constant weight was achieved. Samples composed by tree were prepared separately by fruit component and analyzed in a laboratory accredited by the NAPT program of the Soil Science Society of America.

## Análisis nutrimental

En la materia seca se determinaron las concentraciones de macronutrimentos (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrimentos (Fe, Cu, Mn, Zn, B). La determinación de N-total fue mediante digestión semi-microKjeldahl (Carlson *et al.*, 1990) y para NO<sub>3</sub> se empleó el método de colorimetría (Baker y Smith, 1969). El K se extrajo por el método de absorción atómica empleando un espectrofotómetro de absorción atómica ICE 3000. El P, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn y Zn fueron extraídos por ICP-Plasma acoplado óptico (Haung y Schulte, 1985) empleando un espectrofotómetro ICAP 7200 (Thermo Scientific). El B se determinó por colorimetría (Wear, 1965) con un espectrofotómetro Genesis 20 (Thermo Scientific, EE. UU.).

## Remoción de nutrimentos

Los datos de la composición nutrimental se sometieron a control de calidad con el procedimiento Box-plot del programa computacional Minitab 15. La remoción total de nutrimentos por tonelada de fruto fresco (R<sub>t</sub>) se calculó mediante la fórmula siguiente, ejemplificada para nitrógeno:

$$R_t = \frac{(CN_c * PS_c) + (CN_g * PS_g)}{100} * F_t$$

Donde: CN<sub>c</sub>= concentración del nutrimento en la cáscara, PS<sub>c</sub>= peso seco de la cáscara, CN<sub>g</sub>= concentración del nutrimento en los gajos, PS<sub>g</sub>= peso seco de los gajos, F<sub>t</sub>= número de frutos en una tonelada (obtenidos del cociente 1 000 kg entre el peso fresco del fruto completo) (Mellado *et al.*, 2012). Con el mismo procedimiento se calculó la remoción de los demás nutrimentos.

## Análisis estadístico

En Nayarit se analizaron de manera conjunta los cuatro huertos, como un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones (árboles) y tratamientos (agua y flujo de floración) en diseño factorial 2<sup>2</sup> (factor agua: riego y temporal; factor flujo de floración: primavera e invierno). Se realizó análisis de varianza con el paquete estadístico SAS para Windows V9, con el procedimiento PROC GLM. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). En Veracruz, cada huerto se analizó de manera independiente, usando un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones (árboles) y dos tratamientos (flujo de floración). Se realizó análisis de varianza con el paquete estadístico SAS para

## Nutritional analysis

In the dry matter the concentrations of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg, S) and micronutrients (Fe, Cu, Mn, Zn, B) were determined. The determination of N-total was by semi-microKjeldahl digestion (Carlson *et al.*, 1990) and for NO<sub>3</sub> the colorimetric method was used (Baker and Smith, 1969). The K was extracted by the atomic absorption method using an ICE 3000 atomic absorption spectrophotometer. P, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn and Zn were extracted by ICP-optical coupled plasma (Haung and Schulte, 1985) using an ICAP 7200 spectrophotometer (Thermo Scientific). B was determined by colorimetry (Wear, 1965) with a Genesis 20 spectrophotometer (Thermo Scientific, USA).

## Nutrient removal

The nutritional composition data were subjected to quality control with the Box-plot procedure of the computer program Minitab 15. The total removal of nutrients per ton of fresh fruit (R<sub>t</sub>) was calculated by the following formula, exemplified for nitrogen:

$$R_t = \frac{(CN_c * PS_c) + (CN_g * PS_g)}{100} * F_t$$

Where: CN<sub>c</sub>= nutrient concentration in the rind, PS<sub>c</sub>= dry weight of the rind, CN<sub>g</sub>= concentration of the nutrient in the segments, PS<sub>g</sub>= dry weight of the segments, F<sub>t</sub>= number of fruits in a ton (obtained from the quotient 1 000 kg between the fresh weight of the complete fruit) (Mellado *et al.*, 2012). With the same procedure, the removal of the other nutrients was calculated.

## Statistical analysis

In Nayarit, the four orchards were analyzed together as a completely randomized experimental design with five replications (trees) and treatments (water and flowering flow) in factorial design 2<sup>2</sup> (water factor: irrigation and temporal, flowering factor flowering: spring and winter). Analysis of variance was performed with the statistical package SAS for Windows V9, with the procedure PROC GLM. The mean comparison was made with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ). In Veracruz, each orchard was analyzed independently, using a completely randomized experimental design with five replications (trees) and two treatments (flowering flow). Analysis of variance was carried out with the statistical package SAS

Windows V9, con el procedimiento PROC ANOVA. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## Resultados y discusión

### Concentración de nutrimentos

En Nayarit, la concentración de nutrimentos en los tejidos del fruto de limón Persa fue afectada por el manejo del agua y por el flujo de floración. En huertos con riego la cáscara tuvo mayor concentración de N, P, K y Zn (1.1, 0.09, 1.08 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente, y 5.7 mg kg<sup>-1</sup>), mientras que el Mg tuvo mayor concentración en huertos de temporal (0.18 g 100 g<sup>-1</sup>). La cáscara de frutos del flujo de primavera tuvo mayor concentración de Ca y S (1.2 y 0.1 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente) y la de frutos del flujo de invierno mayor concentración de Mn y B (11.1 y 17 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente). La interacción agua\*flujo de floración, afectó significativamente la concentración de P y Ca en cáscara ( $Pr > F 0.03$  y  $< 0.0001$ , respectivamente).

La concentración de nutrimentos en los gajos de los frutos de limón Persa fue poco afectada por el manejo del agua y más afectada por el flujo de floración. Únicamente la concentración de Zn mostró efecto por el manejo del agua, siendo mayor la concentración en huertos con riego (7.4 mg kg<sup>-1</sup>). El flujo de floración afectó la concentración de P, K, S, Mn y B, presentándose mayor concentración de K y S en los frutos del flujo de primavera (1.2 y 0.07 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente) y mayor concentración de P, Mn y B en los frutos del flujo de invierno (0.1 g 100 g<sup>-1</sup>, 6.7 y 14.1 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente). La interacción agua\*flujo fue significativa para la concentración en gajos de P, Ca, Zn y B ( $Pr > F 0.003$ ,  $< 0.0001$ , 0.04 y 0.03, respectivamente).

De acuerdo con lo reportado Rocuzzo *et al.* (2012), uno de los nutrimentos presentes en mayor cantidad en los frutos cítricos es el K (58%). Esta aseveración coincide para el contenido de K en la cáscara de frutos de huertos con riego incluidos en el presente estudio, que fue 50%. Lo anterior, pudo deberse a que el suelo de esos huertos presentó niveles mayores de P y K, en comparación con los niveles de los huertos sin riego. La concentración de K encontrada en los gajos de los frutos de limón Persa de Nayarit, fue semejante a la reportada por Dirceu *et al.* (2010) (1.46 g 100 g<sup>-1</sup>); sin embargo, la concentración de N y Ca de los frutos de Nayarit,

for Windows V9, with the procedure PROC ANOVA. The mean comparison was made with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ).

## Results and discussion

### Concentration of nutrients

In Nayarit, the concentration of nutrients in the tissues of the Persian lemon fruit was affected by the water management and the flowering flow. In irrigated orchards the husk had a higher concentration of N, P, K and Zn (1.1, 0.09, 1.08 g 100 g<sup>-1</sup>, respectively, and 5.7 mg kg<sup>-1</sup>), while Mg had higher concentration in rain orchards (0.18 g 100 g<sup>-1</sup>). The peel of fruits of the spring flow had higher concentration of Ca and S (1.2 and 0.1 g 100 g<sup>-1</sup>, respectively) and the one of fruit of the winter flow greater concentration of Mn and B (11.1 and 17 mg kg<sup>-1</sup>, respectively). The interaction water\*flow of flowering, significantly affected the concentration of P and Ca in shell ( $Pr > F 0.03$  and  $< 0.0001$ , respectively).

The concentration of nutrients in the segments of the Persian lemon fruits was little affected by the water management and more affected by the flowering flow. Only the concentration of Zn showed an effect due to water management, with a higher concentration in irrigated orchards (7.4 mg kg<sup>-1</sup>). The flowering flow affected the concentration of P, K, S, Mn and B, with a higher concentration of K and S in the fruits of the spring flow (1.2 and 0.07 g 100 g<sup>-1</sup>, respectively) and a higher concentration of P, Mn and B in the fruits of the winter flow (0.1 g 100 g<sup>-1</sup>, 6.7 and 14.1 mg kg<sup>-1</sup>, respectively). The interaction water\*flow was significant for the concentration in segments of P, Ca, Zn and B ( $Pr > F 0.003$ ,  $< 0.0001$ , 0.04 and 0.03, respectively).

According to the reported Rocuzzo *et al.* (2012), one of the nutrients present in greater quantity in citrus fruits is K (58%). This assertion coincides for the content of K in the fruit peel of irrigated orchards included in the present study, which was 50%. This could be due to the fact that the soil of these orchards presented higher levels of P and K, in comparison with the levels of the orchards without irrigation. The concentration of K found in the segments of the Persian lemon fruits of Nayarit was similar to that reported by Dirceu *et al.* (2010) (1.46 g 100 g<sup>-1</sup>). However, the concentration of N and Ca of the fruits of Nayarit,

presentó valores por debajo de lo reportado por el mismo autor, lo cual puede relacionarse con los niveles bajos en suelo de estos nutrimentos.

En Veracruz, los frutos de verano e invierno del Huerto Paso Largo presentaron escasas diferencias en su concentración de nutrimentos. La cáscara de los frutos de verano tuvo mayor concentración de Ca ( $1.9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) y de Fe ( $95.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) que los frutos de invierno, mientras que los frutos de invierno presentaron mayor concentración de Mn, Zn y B (13.3, 6.7 y  $30.5 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente). En los gajos de los frutos originados por el flujo de invierno hubo mayor concentración de Zn y B ( $8.3$  y  $11.6 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente).

En el Huerto Grupo Exportador, los frutos de los diferentes flujos, presentaron escasas diferencias en la concentración de nutrimentos en la cáscara y un número mayor de diferencias en la concentración de nutrimentos en los gajos. La cáscara de los frutos del flujo de verano presentó mayor concentración de P, S y Fe ( $0.09$  y  $0.1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  y  $61.91 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente), y la de los frutos del flujo de invierno solo presentó mayor concentración de B ( $29.05 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Respecto a los gajos, los frutos del flujo de verano presentaron valores superiores de concentración de P, K, S y Cu ( $0.2$ ,  $1$  y  $2.9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  respectivamente, y  $5.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), y en los gajos de frutos del flujo de invierno hubo mayor concentración de Zn y B ( $8.4$  y  $11.6 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente).

Los datos presentados evidencian que flujo de floración que origina a los frutos. Tiene efecto del sobre la concentración de algunos nutrimentos en los tejidos del fruto de limón Persa. Una situación semejante se reportó para frutos de naranja en Florida, los cuales presentaron una concentración de N, P, K, Ca y Mg mayor en los meses de junio a agosto (Paramasivam *et al.*, 2000). Asimismo, para árboles de naranja 'Tarocco' en Italia se reportó que la mayor captación de N, P y Ca se realiza de abril a noviembre, mientras que la absorción neta de K y Mg está casi completa en el verano (Rocuzzo *et al.*, 2012).

### Remoción nutrimental

Nayarit. Se encontró efecto de los factores agua y flujo de floración en la remoción de algunos nutrimentos por el fruto del limón Persa. En huertos con riego fue mayor la remoción de N, P, K y Zn por la cáscara. Asimismo, la cáscara de frutos del flujo de invierno removió más P y Mn. La interacción agua\*flujo de floración fue significativa para la remoción de Ca por la cáscara (Cuadro 2).

presented values below that reported by the same author, which may be related to the low levels in soil of these nutrients.

In Veracruz, the summer and winter fruits of Orchard Paso Largo showed little difference in their concentration of nutrients. The peel of the summer fruits had higher concentration of Ca ( $1.9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) and Fe ( $95.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) than the winter fruits, while the winter fruits showed a higher concentration of Mn, Zn and B (13.3, 6.7 and  $30.5 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectively). In the segments of the fruits originated by the winter flow there was a higher concentration of Zn and B ( $8.3$  and  $11.6 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectively).

In the Export Group Orchard, the fruits of the different flows, showed little differences in the concentration of nutrients in the shell and a greater number of differences in the concentration of nutrients in the segments. The peel of the fruits of the summer flow presented higher concentration of P, S and Fe ( $0.09$  and  $0.1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  and  $61.91 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectively), and that of the fruits of the winter flow only showed higher concentration of B ( $29.05 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Regarding the segments, the fruits of the summer flow presented higher values of concentration of P, K, S and Cu ( $0.2$ ,  $1$  and  $2.9 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  respectively, and  $5.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), and in the segments of fruits of the winter flow had a higher concentration of Zn and B ( $8.4$  and  $11.6 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectively).

The data presented show that flowering flow that originated the fruits. It has an effect on the concentration of some nutrients in the tissues of the Persian lemon fruit. A similar situation was reported for orange fruits in Florida, which presented a higher concentration of N, P, K, Ca and Mg in the months of June to August (Paramasivam *et al.*, 2000). Likewise, for orange trees 'Tarocco' in Italy it was reported that the highest uptake of N, P and Ca is made from April to November, while the net absorption of K and Mg is almost complete in the summer (Rocuzzo *et al.*, 2012).

### Nutritional removal

Nayarit The effect of water and flowering factors on the removal of some nutrients by the Persian lemon fruit was found. In irrigated orchards the removal of N, P, K and Zn by the shell was greater. Also, the fruit peel of the winter flow removed more P and Mn. The interaction water\*flow of flowering was significant for the removal of Ca by the shell (Table 2).

**Cuadro 2. Comparación de medias de la remoción de nutrientes por la cáscara de limón Persa, para los factores manejo del agua, flujo de floración y significancia de su interacción, en huertos de Nayarit.****Table 2. Comparison of means of removal of nutrients by the Persian lemon peel, for the factors water management, flowering flow and significance of their interaction, in Nayarit orchards.**

Factor	Fruto fresco (kg t <sup>-1</sup> )						Fruto fresco (g t <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Riego	0.5 a	0.04 a	0.5 a	0 a	0.05 b	0.02 a	0.7 a	0.1 a	0.4 a	0.2 a	0.6 a
Temporal	0.3 b	0.03 b	0.3 b	0.4 a	0.07 a	0.02 a	0.6 a	0.1 a	0.4 b	0.1 b	0.6 a
Pr > F	0.0001	0.004	0.002	0.077	0.006	0.161	0.194	0.124	0.18	0.001	0.506
Primavera	0.4 a	0.03 b	0.4 a	0.5 a	0.06 a	0.04 a	0.6 a	0.1 a	0.3 b	0.2 a	0.5 a
Invierno	0.4 a	0.04 a	0.4 a	0.4 b	0.07 a	0.01 b	0.7 a	0.1 a	0.5 a	0.2 a	0.7 a
Pr > F	0.367	0.004	0.114	0.07	0.188	0.0006	0.148	0.072	0.004	0.878	< 0.0001
Agua*flujo Pr > F	0.49	0.101	0.589	< 0.0001	0.402	0.206	0.525	0.665	0.225	0.356	0.739

Medias con letras iguales dentro de cada columna para cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

La remoción de nutrientes por los gajos de frutos del limón Persa estuvo afectada por los factores manejo del agua y flujo de floración (Cuadro 3). La remoción de N, Ca, Cu y Zn fue mayor en huertos con riego y la remoción de P, Ca, Mn y B fue mayor en los gajos de frutos del flujo de invierno. La interacción agua\*flujo de floración fue significativa para la remoción del P, Ca y B por los gajos.

The removal of nutrients by the segments of Persian lemon fruit was affected by the factors of water management and flowering (Table 3). The removal of N, Ca, Cu and Zn was higher in irrigated orchards and the removal of P, Ca, Mn and B was greater in the fruit segments of the winter flow. The interaction water\*flow of flowering was significant for the removal of P, Ca and B by the segments.

**Cuadro 3. Comparación de medias de la remoción de nutrientes por los gajos de limón Persa, para los factores manejo del agua, flujo de floración y significancia de su interacción, en huertos de Nayarit.****Table 3. Comparison of means of nutrient removal by segments of Persian lemon, for water management factors, flowering flow and significance of their interaction, in Nayarit orchards.**

Factor	Fruto fresco (kg t <sup>-1</sup> )						Fruto fresco (g t <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Riego	1.3 a	0.2 a	1.7 a	0.7 a	0.1 a	0.07 a	2.3 a	0.6 a	0.8 a	1.1 a	1.8 a
Temporal	1.1 b	0.2 a	1.6 a	0.5 b	0.1 a	0.06 a	2.0 a	0.4 b	0.8 a	0.8 b	1.8 a
Pr > F	0.005	0.057	0.182	0.002	0.5	0.095	0.232	0.038	0.524	0	0.694
Primavera	1.3 a	0.1 b	1.7 a	0.6 b	0.1 a	0.1 a	2.1 a	0.5 a	0.5 b	1 a	1.2 b
Invierno	1.1 a	0.2 a	1.7 a	0.7 a	0.1 a	0.04 b	2.2 a	0.5 a	1 a	0.9 a	2.2 a
Pr > F	0.034	0.001	0.616	0.004	0.147	< 0.0001	0.481	0.160	< 0.0001	0.894	< 0.0001
Agua*flujo Pr > F	0.833	0.038	0.542	0.006	0.495	0.36	0.101	0.959	0.439	0.365	0.041

Medias con letras iguales dentro de cada columna para cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

La remoción de nutrientes por tonelada de fruto de limón Persa fue afectada por los factores agua y flujo de floración, presentándose el mayor número de diferencias debidas al factor agua (Cuadro 4). En condiciones de riego la cosecha de limón Persa removió más N, P, K, Ca, S, Cu y Zn, mientras

The removal of nutrients per ton of Persian lemon fruit was affected by water factors and flowering flow, presenting the largest number of differences due to the water factor (Table 4). Under irrigated conditions, the Persian lemon crop removed more N, P, K, Ca, S, Cu and Zn, while these same



que estos mismos nutrimentos en condiciones de temporal fueron menormente removidos. Los frutos del flujo de primavera efectuaron mayor remoción de S y los del flujo de invierno mayor remoción de P, Mn y B. La interacción agua\*flujo de floración afectó la remoción de P (Figura 1A) y Ca (Figura 1B) por tonelada de limón Persa.

nutrients under temporary conditions were less removed. The fruits of the spring flow made greater removal of S and those of the winter flow greater removal of P, Mn and B. The interaction water\*flow of flowering affected the removal of P (Figure 1A) and Ca (Figure 1B) per ton of Persian lemon.

**Cuadro 4. Comparación de medias de la remoción de nutrimentos por toneladas de limón Persa, para los factores manejo del agua, flujo de floración y significancia de su interacción, en huertos de Nayarit.**

**Table 4. Comparison of means of removal of nutrients per tons of Persian lemon, for the factors of water management, flowering flow and significance of their interaction, in Nayarit orchards.**

Factor	Fruto fresco (kg t <sup>-1</sup> )						Fruto fresco (g t <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Riego	1.9 a	0.2 a	2.2 a	1.2 a	0.2 a	0.1 a	3 a	0.7 a	1.3 a	1.4 a	2.4 a
Temporal	1.4 b	0.2 b	2 b	1 b	0.2 a	0.07 b	2.6 a	0.6 b	1.3 a	0.9 b	2.5 a
Pr > F	0.0006	0.034	0.029	0.001	0.504	0.047	0.191	0.033	0.989	< 0.0001	0.58
Primavera	1.6 a	0.2 b	2.1 a	1.1 a	0.2 a	0.1 a	2.7 a	0.6 a	0.8 b	1.2 a	1.7 b
Invierno	1.7 a	0.3 a	2.1 a	1.1 a	0.2 a	0.05 b	2.9 a	0.7 a	1.6 a	1.1 a	3 a
Pr > F	0.046	0.001	0.335	0.126	0.122	< 0.0001	0.349	0.099	< 0.0001	0.941	< 0.0001
Agua*flujo Pr > F	0.704	0.039	0.465	< 0.0001	0.863	0.16	0.127	0.878	0.335	0.280	0.059

Medias con letras iguales dentro de cada columna para cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

La interacción manejo del agua\*flujo de floración en la remoción de P puso de manifiesto que, tanto en los huertos con riego como en los huertos de temporal, la cosecha procedente del flujo de invierno removió mayor cantidad de P. En cuanto a la remoción de Ca, la interacción manejo del agua\*flujo de floración evidenció que en condiciones de riego los frutos procedentes del flujo de primavera removieron mayor cantidad de Ca, mientras que, en huertos de temporal, la remoción por los frutos del flujo de invierno fue mayor.

La mayor remoción de nutrimentos en los huertos con riego pudo ser propiciada por la disponibilidad de agua. Además de que la humedad del suelo afecta el crecimiento de las plantas y a su potencial hídrico, influye en la disponibilidad de nutrimentos en la solución del suelo (Sheikh Ashkevari *et al.*, 2013) y limita la transpiración y la fotosíntesis (Seneviratne *et al.*, 2010). De igual manera, la temperatura ambiente es uno de los factores que afectan la transpiración de las plantas (Azcón y Talón, 2008). En estudios previos se reportó que la captación estacional de K por los cítricos es muy baja durante los meses más fríos y aumenta rápidamente después de la reanudación del nuevo crecimiento y floración en primavera (Roy *et al.*, 1996).

The interaction water management\*flow of flowering in the removal of P showed that, both in the irrigated orchards and in the temporary orchards, the harvest from the winter flow removed more amount of P. Regarding the removal of Ca, the water management interaction\*flow of flowering showed that under irrigation conditions the fruits from the spring flow removed more Ca, while, in temporary orchards, the removal by the fruits of the winter flow was greater.

The greater removal of nutrients in irrigated orchards could be facilitated by the availability of water. In addition to the fact that soil moisture affects the growth of plants and their water potential, it influences the availability of nutrients in the soil solution (Sheikh Ashkevari *et al.*, 2013) and limits transpiration and photosynthesis (Seneviratne *et al.*, 2010). In the same way, the ambient temperature is one of the factors that affect the transpiration of plants (Azcón and Talón, 2008). In previous studies it was reported that the seasonal uptake of K by citrus is very low during the colder months and increases rapidly after the resumption of new growth and flowering in spring (Roy *et al.*, 1996).

Los nutrientes que reportaron mayor remoción en los huertos de limón Persa incluidos en el presente estudio fueron N y K. Esto coincide con lo ya señalado para otros cítricos (Rocuzzo *et al.*, 2012). Para huertos de limón Persa en Huimalguillo, Tabasco, la remoción de nutrientes considerando un rendimiento potencial de 30 t ha<sup>-1</sup> fue la siguiente: (kg t<sup>-1</sup>) 1.83 N, 0.27 P, 1.97 K, 1.11 Ca, 0.15 Mg y (g t<sup>-1</sup>) 9.7 Fe, 0.53 Cu, 1.06 Mn, 2.06 Zn y 3.05 B (Salgado *et al.*, 2016). La remoción de macronutrientes reportada para Tabasco fue semejante a la encontrada en este estudio, sin embargo, la remoción total de Fe, Zn y B fue menor en Nayarit.

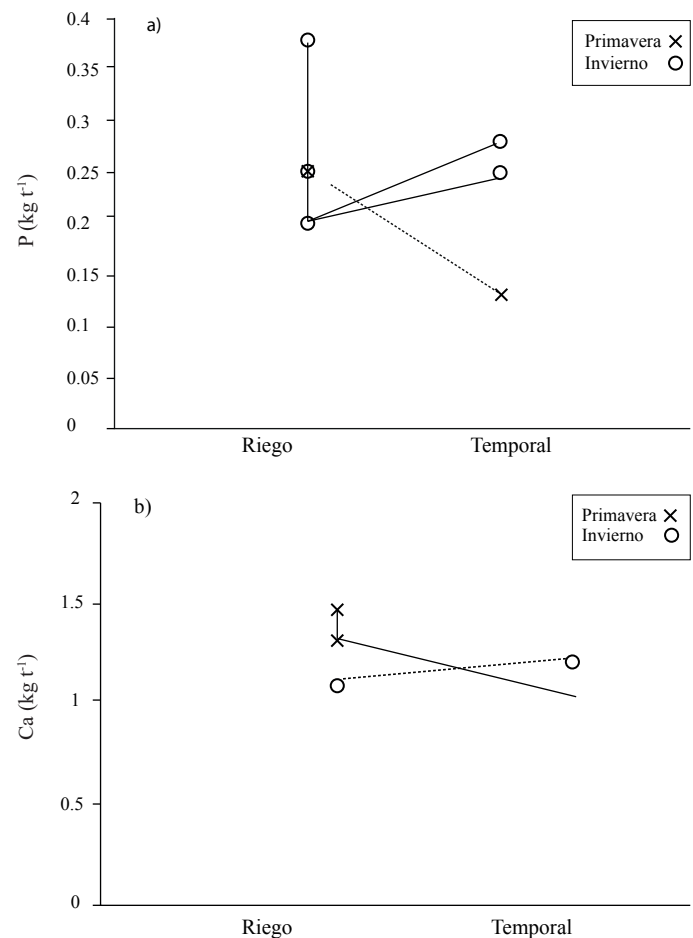
De acuerdo con los resultados del análisis de suelo, en los cuatro huertos el pH se clasificó en el rango de acidez, pero diferente magnitud. Las principales diferencias en el suelo de los cuatro huertos fueron el contenido de materia orgánica y de P. El contenido de materia orgánica fue medio en un solo huerto, mientras que los otros tuvieron bajo contenido.

El manejo del agua y las diferencias entre suelos reportadas por el análisis de suelo afectaron la remoción de nutrientes por la cosecha de limón Persa. El contenido de P en el suelo fue mayor en los dos huertos con riego, lo cual pudiera explicar que el análisis de las interacciones agua\*flujo para la concentración y remoción de nutrientes, haya reportado el valor más alto para el tratamiento con riego en el flujo de invierno.

La remoción de nutrientes también pudo estar influida por el contenido de K en los suelos, que fue de moderadamente alto a muy alto. Se reportó que la alta disponibilidad de K en el suelo puede reducir la absorción de otros cationes, principalmente Mg, Ca, y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Ashok *et al.*, 2006).

De los factores evaluados en el presente estudio, se encontró que el manejo del agua fue el de mayor efecto sobre la remoción de nutrientes. Sin embargo, para reponer al suelo al menos los nutrientes removidos por cada cosecha, se deben tomar en cuenta los nutrientes mayormente removidos en cada flujo de producción.

Veracruz. Los tejidos de los frutos de limón Persa del huerto Paso Largo presentaron diferencias en la remoción de nutrientes entre flujos (Cuadro 5). La cáscara de los frutos de verano removió mayor cantidad de P, Ca y Fe, mientras que la cáscara de los frutos de invierno removió mayor cantidad de Mn, Zn y B. En cuanto a los gajos, en el verano se removió más Fe y Cu y en invierno mayor cantidad de B.



**Figura 1A y 1B. Interacción manejo del agua\*flujo de floración en la remoción de P y Ca por tonelada de limón Persa en huertos de Nayarit.**

**Figure 1A and 1B. Interaction of water management\*flowering flow in the removal of P and Ca per ton of Persian lemon in Nayarit orchards.**

The nutrients that reported the greatest removal in the Persian lemon orchards included in the present study were N and K. This coincides with what has already been pointed out for other citrus fruits (Rocuzzo *et al.*, 2012). For Persian lemon orchards in Huimalguillo, Tabasco, the removal of nutrients considering a potential yield of 30 t ha<sup>-1</sup> was as follows: (kg t<sup>-1</sup>) 1.83 N, 0.27 P, 1.97 K, 1.11 Ca, 0.15 Mg and (g t<sup>-1</sup>) 9.7 Fe, 0.53 Cu, 1.06 Mn, 2.06 Zn and 3.05 B (Salgado *et al.*, 2016). The macronutrient removal reported for Tabasco was similar to that found in this study, however, the total removal of Fe, Zn and B was lower in Nayarit.

According to the results of the soil analysis, in the four orchards the pH was classified in the range of acidity, but different magnitude. The main differences in the soil of the

En el Huerto Grupo Exportador, la cáscara y los gajos de los frutos de invierno, removieron mayor cantidad de nutrimentos (Cuadro 6). La cáscara removió mayor cantidad de Ca y B y los gajos removieron mayor cantidad de Ca, Fe, Zn y B.

Los datos de remoción de nutrimentos por tonelada de fruto se presentan en el Cuadro 7. En el Huerto Paso Largo se encontraron diferencias en la remoción por la cosecha de cada flujo. Los frutos provenientes de verano removieron más P, Ca, Fe y Cu, mientras que la remoción de Zn y B fue mayor en la cosecha de los frutos procedentes del flujo de invierno. En el Huerto Grupo Exportador, la cosecha de invierno removió mayor cantidad de nutrimentos, siendo los nutrimentos mayormente removidos el N, Ca, Zn y B. En este huerto la cosecha del flujo de verano tuvo menor remoción de los nutrimentos analizados.

four orchards were the content of organic matter and P. The content of organic matter was medium in a single orchard, while the others had low content.

Water management and the differences between soils reported by the soil analysis affected the removal of nutrients by the Persian lemon crop. The content of P in the soil was higher in the two irrigated orchards, which could explain that the analysis of the interactions water\*flow for the concentration and removal of nutrients, has reported the highest value for the treatment with irrigation in the winter flow.

The removal of nutrients could also be influenced by the K content in the soils, which was moderately high to very high. It was reported that the high availability of K in the soil can reduce the absorption of other cations, mainly Mg, Ca, and  $\text{NH}_4^+$  (Ashok *et al.*, 2006).

**Cuadro 5. Remoción de nutrimentos por los tejidos del fruto y por la cosecha de limón Persa del Huerto Paso Largo, Martínez de la Torre, Veracruz.**

**Table 5. Removal of nutrients by the tissues of the fruit and by the harvest of Persian lemon from Orchard Paso Largo, Martínez de la Torre, Veracruz.**

Flujo	Remoción de nutrimentos ( $\text{kg t}^{-1}$ )						Remoción de nutrimentos ( $\text{g t}^{-1}$ )				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	Cáscara										
Verano 2015	0.7 a	0.05 a	0.3 a	0.9 a	0.04 a	0.05 a	4.8 a	0.3 a	0.3 b	0.2 b	1.1 b
Invierno 2016	0.8 a	0.04 b	0.2 a	0.5 b	0.04 a	0.05 a	1.4 b	0.3 a	0.6 a	0.3 a	1.4 a
Pr > F	0.246	0.021	0.138	0.026	0.599	0.204	0.008	0.302	0.039	0.005	0.0003
	Gajos										
Verano 2015	1.4 a	0.1 a	1.1 a	0.4 a	0.08 a	0.05 a	3.7 a	0.5 a	0.2 a	0.5 a	0.7 b
Invierno 2016	1.4 a	0.1 a	1 a	0.2 a	0.08 a	0.05 a	2.6 b	0.4 b	0.2 a	0.7 a	1 a
Pr > F	0.512	0.142	0.198	0.05	0.834	0.054	0.026	0.035	0.857	0.061	< 0.0001

Medias con letras iguales dentro de cada columna y tejido no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

La remoción de nutrimentos en los huertos de limón Persa incluidos en este estudio, estuvo afectada por factores como la densidad de población y la fertilización. La mayor remoción de nutrimentos en el huerto Grupo Exportador, se relacionó con la menor cantidad de árboles por hectárea (208 árboles) en comparación con el huerto Paso Largo (416 árboles), esto debido a que la densidad de plantación se encuentra estrechamente relacionada con los efectos que produce en la planta, como es la competencia intraespecífica por nutrientes, agua y espacio (Mateus y Orduz, 2016). En cuanto a la fertilización, en el Huerto Paso Largo se inició la aplicación de

Of the factors evaluated in the present study, it was found that water management had the greatest effect on the removal of nutrients. However, to replenish at least the nutrients removed for each crop, the nutrients mostly removed in each production flow must be taken into account.

Veracruz. The tissues of the Persian lemon fruits of the Paso Largo orchard showed differences in the removal of nutrients between flows (Table 5). The peel of the summer fruits removed more P, Ca and Fe, while the peel of the winter fruits removed more Mn, Zn and B. As for the segments,

fertilizante 3 meses antes que en el Huerto Grupo Exportador, por lo que el Huerto Paso Largo recibió fertilizante durante 6 meses y el Huerto Grupo Exportador durante 4 meses, lo que pudo propiciar que los árboles tuvieron acceso a los nutrimentos de manera más oportuna. Es importante señalar que hubo coincidencia en ambos huertos, en la mayor remoción de Zn y B por los frutos del flujo de invierno.

in the summer more Fe was removed and Cu and in winter greater amount of B.

In the Export Group Orchard, the peel and segments of the winter fruits removed more nutrients (Table 6). The peel removed more Ca and B and the segments removed more Ca, Fe, Zn and B.

**Cuadro 6. Remoción de nutrimentos por los tejidos del fruto y por la cosecha de limón Persa del Huerto Grupo Exportador, Martínez de la Torre, Veracruz.**

**Table 6. Removal of nutrients by the tissues of the fruit and by the lemon harvest Persian Orchard Exporter, Martínez de la Torre, Veracruz.**

Flujo	Remoción de nutrimentos (kg t <sup>-1</sup> )						Remoción de nutrimentos (g t <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Cáscara											
Verano 2015	0.8 a	0.04 a	0.2 a	0.5 b	0.04 a	0.05 a	1.3 a	0.2 a	1 a	0.2 a	0.8 b
Invierno 2016	0.9 a	0.04 a	0.2 a	0.9 a	0.05 a	0.05 a	1.1 a	0.2 a	0.8 a	0.2 a	1.7 a
Pr > F	0.116	0.725	0.951	0.003	0.174	0.406	0.694	0.506	0.355	0.637	< 0.0001
Gajos											
Verano 2015	1 b	0.1 a	0.7 a	0.2 b	0.06 a	0.05 a	0.9 b	0.3 a	0.3 a	0.5 b	0.3 b
Invierno 2016	1.3 a	0.1 a	0.4 a	0.3 a	0.07 a	0.05 a	1.4 a	0.4 a	0.3 a	0.8 a	1.1 a
Pr > F	0.018	0.58	0.12	0.043	0.134	0.346	0.003	0.174	0.736	0.004	< 0.0001

Medias con letras iguales dentro de cada columna y tejido no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 7. Remoción de nutrimentos por tonelada de fruto de limón Persa producido en huertos de temporal de Martínez de la Torre, Veracruz.**

**Table 7. Removal of nutrients per ton of Persian lemon fruit produced in rain-fed orchards of Martínez de la Torre, Veracruz.**

Flujo	Remoción de nutrimentos (kg t <sup>-1</sup> )						Remoción de nutrimentos (g t <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Huerto Paso Largo											
Verano 2015	2.1 a	0.3 a <sup>†</sup>	1.5 a	1.4 a	0.1 a	0.1 a	8.6 a	0.9 a	0.6 a	0.8 b	1.8 b
Invierno 2016	2.2 a	0.2 b	1.2 a	0.7 b	0.1 a	0.1 a	4.1 b	0.7 b	0.9 a	1.1 a	2.5 a
Pr > f	0.236	0.047	0.077	0.024	0.73	0.097	0.002	0.026	0.139	0.02	< 0.0001
Huerto Grupo Exportador											
Verano 2015	1.8 b	0.1 a	0.9 a	0.7 b	0.1 a	0.09 a	2.3 a	0.5 a	1.4 a	0.8 b	1.1 b
Invierno 2016	2.2 a	0.1 a	0.7 a	1.2 a	0.1 a	0.1 a	2.6 a	0.6 a	1.1 a	1.1 a	2.8 a
Pr > f	0.023	0.72	0.293	0.003	0.12	0.32	0.415	0.498	0.432	0.01	< 0.0001

<sup>†</sup>Medias con letras iguales dentro de cada columna y tejido no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Al comparar la remoción de nutrimentos en huertos de limón Persa de temporal en Nayarit (Mellado *et al.*, 2015), con lo encontrado en el presente estudio, se aprecia que en los huertos de Veracruz, el N, S, Fe y Zn fueron mayormente removidos por la cosecha.

The nutrient removal data per ton of fruit are presented in Table 7. In the Orchard Paso Largo, differences were found in the removal by harvest of each flow. The fruits from summer removed more P, Ca, Fe and Cu, while the removal of Zn and B was higher in the harvest of the fruits from the

## Conclusiones

Nayarit. En huertos con riego, los tejidos del fruto de limón Persa removieron mayor cantidad de N y Zn. Los frutos del flujo de invierno removieron mayor cantidad de P y Mn. La fertilización para huertos de limón Persa con riego deberá incluir mayor N, P, K, Ca, S, Cu y Zn que la fertilización para huertos de temporal. La fertilización orientada a cubrir las demandas de los diferentes flujos de producción del limón Persa deberá incluir mayor cantidad de S para el flujo de primavera y mayor cantidad de P, Mn y B para el flujo de invierno.

Veracruz. Los frutos de limón Persa originados de la brotación de verano removieron más P, Ca, Fe y Cu. Los frutos de limón Persa originados de la brotación de invierno removieron más Ca, Fe, Mn, Zn y B. En promedio 1 t de limón Persa de la floración de verano 2015 removió ( $\text{kg t}^{-1}$ ) 3.93 N, 0.43 P, 2.48 K, 2.2 Ca, 0.22 Mg, 0.19 S, y ( $\text{g t}^{-1}$ ) 10.92 Fe, 1.5 Cu, 2.06 Mn, 1.67 Zn y 3 B y la cosecha procedente de la floración de invierno 2016 removió ( $\text{kg t}^{-1}$ ) 4.51 N, 0.4 P, 1.97 K, 1.95 Ca, 0.24 Mg, 0.21 S, 6.77 Fe, 1.38 Cu, 2.05 Mn, 2.24 Zn y 5.43 B. En huertos de temporal de Veracruz el manejo de la nutrición del limón Persa basado en la remoción de nutrimento efectuada por la cosecha, deberá incluir la aplicación de P, Ca, Cl, Fe y Cu posterior a la cosecha procedente de la brotación de verano, así como la aplicación de N, Ca, Zn y B posterior a la cosecha procedente de la brotación de invierno.

## Agradecimientos

Los autores(as) agradecen el financiamiento del INIFAP fondos fiscales 2015 y de la Fundación Produce Nayarit, A. C. Asimismo, el apoyo y cooperación de los productores de Nayarit José Esparza Bueno, Carlos Zavala Navarro, Guillermo Arias Hernández y Ricardo Vigil Aguilar y de los productores de Veracruz Ing. Rafael Barradas Muñiz y al Ing. Enrique Saavedra Martínez, para la realización de las actividades en sus respectivos huertos.

## Literatura citada

- Alcántar, G. G. y Trejo, T. L. 2009. Nutrición de cultivos. Mundi Prensa. Primera edición DF., México. 454 p.
- Ashok, K. A.; Dirceu, M. Jr.; Siva, P.; Bhimu, P.; Huating, D. and Kenneth S. S. 2006. Potassium management for optimizing citrus production and quality. *Inter. J. Fruit Sci.* 6(1):3-43.

winter flow. In the Export Group Garden, the winter harvest removed more nutrients, the nutrients being mostly N, Ca, Zn and B removed. In this orchard, the summer flow harvest had less removal of the nutrients analyzed.

The removal of nutrients in the Persian lemon orchards included in this study was affected by factors such as population density and fertilization. The greatest nutrient removal in the Grupo Exportador orchard was related to the lowest number of trees per hectare (208 trees) compared to the Paso Largo orchard (416 trees), this being due to the fact that plantation density is closely related to the effects it produces on the plant, such as intra-specific competition for nutrients, water and space (Mateus and Orduz, 2016). Regarding fertilization, in the Orchard Paso Largo the application of fertilizer was started 3 months earlier than in the Exporter Group Orchard, for which the Paso Largo Orchard received fertilizer for 6 months and the Grupo Exportador Orchard for 4 months, which could propitiate that trees had access to nutrients in a more timely manner. It is important to note that there was a coincidence in both orchards, in the greater removal of Zn and B by the fruits of the winter flow.

When comparing the removal of nutrients in Persian lemon orchards in Nayarit (Mellado *et al.*, 2015), with that found in the present study, it can be seen that in the Veracruz orchards, the N, S, Fe and Zn were mostly removed by the harvest.

## Conclusions

Nayarit. In irrigated orchards, the tissues of the Persian lemon fruit removed more N and Zn. The fruits from the winter flow removed more P and Mn. Fertilization for Persian lemon orchards with irrigation should include more N, P, K, Ca, S, Cu and Zn than fertilization for seasonal orchards. The fertilization oriented to cover the demands of the different flows of production of the Persian lemon will have to include greater amount of S for the flow of spring and greater quantity of P, Mn and B for the flow of winter.

Veracruz. The Persian lemon fruits originating from the summer sprouting removed more P, Ca, Fe and Cu. The Persian lemon fruits originated from the winter sprouting removed more Ca, Fe, Mn, Zn and B. On average one ton of Persian lemon from the flowering of Summer 2015 removed ( $\text{kg t}^{-1}$ ) 3.93 N, 0.43 P, 2.48 K, 2.2 Ca, 0.22 Mg, 0.19 S, and

- Azcón, B. J. y Talón, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana de España S.L. 651 p.
- Baker, A. S. and Smith, R. 1969. Extracting solution for potentiometric determination of nitrate in plant tissue. *J. Agric. Food Chem.* 17:1284-1287.
- Carlson, R. M.; Cabrera, R. I.; Paul, J. L.; Quick, J. and Evans, R. Y. 1990. Rapid direct measurement of ammonium and nitrate in soil and plant tissue extracts. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 21: 1519-1529.
- Curti, D. S. A. 2013. Manejo integrado del cultivo de limón Persa. *In: IX Simposio Internacional Citrícola y 1<sup>er</sup> Simposio Internacional sobre HLB en cítricos ácidos.* Octubre 30 a noviembre 01. Tecomán, Colima. 73-91 pp.
- De Moraes B. H. R.; Pinto de Castro, T. A. and Genovese, M. I. 2012. Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. *Food Chem.* 34:1892-1898.
- Dirceu, M. Jr.; Milaneze, T. F.; Alves, A. F. and Quaggio, J. A. 2010. Soil nutrient availability and its impact in fruit quality of tahiti acid lime. *Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal, SP.* 32(1):335-342.
- Haug, C. L. and Schulte, E. E. 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 16:945-958.
- Malo, S. E.; Campbell, C. W.; Crane, J. H. y Balerdi, C. F. 2015. El limón Persa en Florida. Documento HS1029. Publicaciones del Horticultural Sciences, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida. (UF/IFAS). <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Mateus, C. D. y Orduz, R. J. O. 2016. Efecto de distancias de plantación sobre el rendimiento y crecimiento vegetativo de la naranja 'Valencia' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) en el trópico bajo húmedo de Colombia. *Orinoquia.* 20(1):19-27.
- Mellado, V. A.; Salazar, G. S.; Treviño, De la F. C. A.; González, D. I. J. Ly López, J. A. 2012. Composición y remoción nutrimental de frutos de mango 'Haden' y 'Tommy Atkins' bajo producción forzada. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(5):925-941.
- Mellado, V. A.; Salazar, G. S.; Álvarez, B. A. y Curti, D. S. A. 2015. Remoción de nutrimentos por la cosecha: herramienta para el manejo de la nutrición del limón Persa en Nayarit. INIFAP, CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Folleto Técnico Núm. 30. 45 p.
- Paramasivam, S.; Alva, A. K.; Hostler, K. H.; Easterwood, G. W. and Southwell, J. S. 2000. Fruit nutrient accumulation of four orange varieties during fruit development. *J. Plant Nutr.* 23(3):313-327.
- Rocuzzo, G.; Zanutelli, D.; Allegra, M.; Giuffrida, A.; Torrisi, B. A.; Leonardia, A.; Quiñones, A.; Intrigliolo, F. and Tagliavini, M. 2012. Assessing nutrient uptake by field-grown orange trees. *Eur. J. Agron.* 41:73- 80.
- (g t<sup>-1</sup>) 10.92 Fe, 1.5 Cu, 2.06 Mn, 1.67 Zn and 3 B and the harvest from the 2016 winter bloom removed (kg t<sup>-1</sup>) 4.51 N, 0.4 P, 1.97 K, 1.95 Ca, 0.24 Mg, 0.21 S, 6.77 Fe, 1.38 Cu, 2.05 Mn, 2.24 Zn and 5.43 B. In rainfed orchards of Veracruz, the management of Persian lemon nutrition based solely on the removal of nutrients made by the harvest, must include the application of P, Ca, Cl, Fe and Cu after the harvest from summer sprouting, as well as the application of N, Ca, Zn and B after harvest coming from winter sprouting.

*End of the English version*



- Roy, M.; Andrew, C. H. and Spreen, T. H. 1996. World markets U.S. and Mexican limes. *In: Persian limes in North America-an economic analysis of production and marketing channels.* Lake Alfred: Florida Science Source. 27-43 pp.
- Salgado, G. S.; Palma, L. D. J.; Zavala, C. J.; Córdova, S. S.; Castelán, E. M.; Lagunes, E. L. C.; Ortiz, G. C. F.; Rivera, C. M. C.; Ventura, U. F.; Marín, A. A.; Moreno, C. E. y Rincón, R. J. A. 2016. Programa de fertilización sustentable para plantaciones de cítricos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios.* 3(9): 345-356.
- SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). 1996. Norma Mexicana NMX-FF-077-1996. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano fruta fresca - limón Persa (*Citrus latifolia* L.).
- Seneviratne, S. I.; Corti, T.; Davin, E. L.; Hirschi, M.; Jaeger, E. L.; Lehner, I.; Orlowsky B. and Teuling, A. J. 2010. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews.* 99:125-161.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Producción anual. Cierre de la producción agrícola por cultivo. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx).
- Sheikh, A. A.; Hoseinzadeh, S. H. and Miransari, M. 2013. Effects of different nitrogen, phosphorus, potassium rates on the quality and quantity of citrus plants, variety Thomson novel under rainfed and irrigated conditions. *J. Plant Nutr.* 36(9):1412-1423.
- Wear, J. I. 1965. Boron. *In: methods of soil analysis, Part 2.* C. A. Black (Ed). American Society of Agronomy. Madison, WI, USA. 1059-1063 pp.