

Influence of clonal rootstocks on leaf nutrient concentrations in 'Hass' avocado grown without irrigation

Influencia de portainjertos clonales sobre la concentración foliar de nutrimentos en aguacate 'Hass' cultivado sin riego

Samuel Salazar-García^{1*}; Raúl Medina-Torres²; Martha Elva Ibarra-Estrada³; José González-Valdivia³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Santiago Ixcuintla, Nayarit, C. P. 63300, MÉXICO.

salazar.samuel@inifap.gob.mx, tel.: (55) 387 187 00, ext. 84426 (*Corresponding author)

²Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, C. P. 63780, MÉXICO.

³Investigadores independientes. Santiago Ixcuintla, Nayarit, MÉXICO.

Abstract

The objectives of this research were: a) detect differences in leaf nutrient concentrations of various clonal avocado rootstocks prior to being grafted, and b) determine the effect of the rootstock on leaf nutrient concentrations in young and adult 'Hass' scions grown without irrigation. Rootstocks were planted in 2000 and grafted in 2001 in a rainfed orchard in the municipality of Tepic, Nayarit, Mexico. As control, 'Hass' on native rootstock grown from seed was used. Thirty six-month-old leaves from the winter vegetative flush were sampled from each tree and from them the concentration of macro- and micronutrients was determined. The ungrafted rootstocks and the young 'Hass' trees on the evaluated rootstocks showed no variations in leaf nutrient concentrations, and in adult trees there were only differences for P. Leaf concentrations of N, P, Ca, Mn and B were higher at the beginning of the productive stage of the trees, while nutrient concentrations of Fe and Zn were higher in trees in full production. The type of rootstock used did not affect fruit production. This research identified rootstocks that positively or negatively modify leaf nutrient concentrations in 'Hass' scions, which will help the commercial management of their nutrition.

Keywords: *Persea americana* Mill., water stress, mineral nutrition.

Resumen

Los objetivos de esta investigación fueron: a) detectar diferencias en la concentración nutrimental foliar de diversos portainjertos clonales de aguacate previo a ser injertados, y b) determinar el efecto del portainjerto sobre la concentración foliar de nutrimentos en injertos jóvenes y adultos de 'Hass' cultivados sin riego. Los portainjertos se plantaron en el 2000 e injertaron en 2001 en un huerto sin riego del municipio de Tepic, Nayarit, México. Como testigo se empleó 'Hass' sobre portainjerto criollo originado por semilla. En cada árbol se muestrearon 30 hojas, de seis meses de edad del flujo vegetativo de invierno, y se les determinó la concentración de macro- y micronutrientes. Los portainjertos sin injertar y los árboles jóvenes de 'Hass' sobre los portainjertos evaluados no mostraron variaciones en la concentración foliar de nutrimentos, y en árboles adultos solo hubo diferencias para P. Las concentraciones foliares de N, P, Ca, Mn y B fueron mayores al inicio de la etapa productiva de los árboles; mientras que la concentración nutrimental de Fe y Zn fue superior en árboles en plena producción. El tipo de portainjerto empleado no afectó la producción de fruto. Esta investigación permitió identificar portainjertos que modifican positiva o negativamente las concentraciones nutrimentales foliares en injertos de 'Hass', lo que ayudará al manejo comercial de su nutrición.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., agobio hídrico, nutrición mineral.

Please cite this article as follows (APA 6): Salazar-García, S., Medina-Torres, R., Ibarra-Estrada, M. E., & González-Valdivia, J. (2016). Influence of clonal rootstocks on leaf nutrient concentrations in 'Hass' avocado grown without irrigation. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(3), 161-175. doi: 10.5154/r.rchsh.2015.06.013

Received: June 26, 2015/ Accepted: July 12, 2016.



Revista Chapingo
Serie Horticultura

www.chapingo.mx/revistas/horticultura

Introduction

The type of rootstock can affect the physiological, phenological and reproductive performance of the cultivar grafted onto it (Salazar-García, 2002a). The greatest variability occurs when seedlings rootstocks are used (Salazar-García, Velasco-Cárdenas, Medina-Torres, & Gómez-Aguilar, 2004a). This variation is not only between species, but also among trees of the same race and even within seed-grown plants, which due to cross pollination can be highly heterozygous (Salazar-García, Borys, & Enríquez-Reyes, 1984a). In fact, only rootstocks obtained by asexual methods are genetically identical to the mother plant (Salazar-García, 2002a).

The rootstock used can have an important effect on the leaf nutrient concentrations of the grafted cultivar. Embleton, Matsumura, Storey, and Garber (1962) found that rootstocks of the Guatemalan race led to a lower Cl concentration than those of the Mexican race, and that both the race of the rootstocks and their botanical variety affected the leaf concentrations of N, P, K, Ca and Mg of the grafted cultivar. For their part, Labanauskas, Stolzy, and Zentmyer (1978) report that 'Duke' seed rootstock favored higher leaf concentrations of N, P and Cu in 'Hass' scions, compared to 'Topa' rootstock. In Australia, 'Duke 7' (clonal, Mexican race) benefited the leaf concentration of Zn in 'Hass' trees in full production, while 'Velvick' (clonal or from seed, West Indian) did not modify leaf nutrient levels (Marques, Hofman, & Wearing, 2003). In California, leaf nutrient concentrations in 'Hass' trees grown on 10 clonal rootstocks were measured, and although there were variations among them, the concentrations of N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cl, Mn, B, Fe and Cu were within, or near, the optimal standards recommended for California (Mickelbart, Bender, Witney, Adams, & Arpaia, 2007).

The search for avocado rootstocks tolerant to water stress has been limited; one possible reason is that in most producing countries it is grown under irrigation. However, in Mexico, more than 111,000 hectares with avocado lack irrigation. In Nayarit just 5 % of 5,300 ha with avocado have irrigation (SAGARPA-SIAP, 2014). The shortage of water for agriculture, which is exacerbated by the variation in interannual rainfall and its annual distribution, reduces avocado yields and quality, making it necessary to obtain rootstocks with higher productivity than those currently used.

During the 1980s in Mexico, rootstocks tolerant to salinity or drought were selected (Salazar-García et al., 1984a; Salazar-García, Borys, & Enríquez-Reyes, 1984b; Salazar-García, Borys, & Enríquez-Reyes, 1984c; Salazar-García et al., 2004a). Once the technique for rooting avocado stems was refined (Salazar-García, 2002b), the most promising selections were cloned, and in 2000 their evaluation as rootstocks for 'Hass'

Introducción

El tipo de portainjerto puede afectar el comportamiento fisiológico, fenológico y reproductivo del cultivar injertado sobre él (Salazar-García, 2002a). La mayor variabilidad ocurre cuando se utilizan portainjertos originados por semilla (Salazar-García, Velasco-Cárdenas, Medina-Torres, & Gómez-Aguilar, 2004a). Esta variación no sólo es entre especies, sino entre árboles de una misma raza y aún dentro de las plantas originadas por semilla, que debido a la polinización cruzada pueden ser altamente heterocigotos (Salazar-García, Borys, & Enríquez-Reyes, 1984a). De hecho, solo los portainjertos obtenidos por métodos asexuales son genéticamente idénticos a la planta madre (Salazar-García, 2002a).

El portainjerto empleado puede tener un efecto importante sobre la concentración nutrimental foliar del cultivar injertado. Embleton, Matsumura, Storey, y Garber (1962) encontraron que los portainjertos de raza guatemalteca propiciaron concentración más baja de Cl que los de raza Mexicana; además, que tanto la raza de los portainjertos como su variedad botánica afectaron la concentración foliar de N, P, K, Ca y Mg del cultivar injertado. Por su parte, Labanauskas, Stolzy, y Zentmyer (1978) reportan que el portainjerto de semilla 'Duke' favoreció a la concentración foliar mayor de N, P y Cu en injertos de 'Hass', comparado con 'Topa'. En Australia, 'Duke 7' (clonal, raza Mexicana) benefició la concentración foliar de Zn en árboles de 'Hass' en plena producción; mientras que 'Velvick' (clonal o de semilla, raza Antillana) no modificó los niveles nutrimentales foliares (Marques, Hofman, & Wearing, 2003). En California, se evaluó la concentración foliar de nutrimentos de 'Hass' de 10 portainjertos clonales, y aunque hubo variaciones entre estos, la concentración de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cl, Mn, B, Fe y Cu estuvo dentro, o cerca, de los estándares óptimos recomendados para California (Mickelbart, Bender, Witney, Adams, & Arpaia, 2007).

La búsqueda de portainjertos para aguacate con tolerancia al agobio hídrico ha sido limitada; una posible causa es que en la mayoría de los países productores éste es cultivado con riego. Sin embargo, en México, más de 111 mil hectáreas con aguacate carecen de riego. En Nayarit sólo 5 % de 5,300 ha con aguacate dispone de riego (SAGARPA-SIAP, 2014). La escasez de agua para la agricultura, que se agudiza por la variación interanual de las lluvias y de su distribución anual, disminuye los rendimientos y calidad del aguacate, por lo que es necesario obtener portainjertos con mayor productividad que los utilizados actualmente.

Durante la década de los ochenta, en México se seleccionaron portainjertos para aguacate tolerantes a salinidad o sequía (Salazar-García et al., 1984a; Salazar-

began in Nayarit (Salazar-García et al., 2004a; Salazar-García, Velasco-Cárdenas, Medina-Torres, & Gómez-Aguilar, 2004b).

It is unknown whether the aforementioned rootstocks affect the leaf nutrient concentrations of 'Hass', which have to be considered for the commercial management of their nutrition. Therefore, the objectives of this research were: a) detect differences in leaf nutrient concentrations of various clonal avocado rootstocks prior to being grafted, b) determine the effect of the rootstock on leaf nutrient concentrations in young and adult 'Hass' trees grown without irrigation.

Materials and methods

Plant material

The orchard under study is located in Platanitos, municipality of Tepic, Nayarit, Mexico, at 1,060 masl; the area's mean annual minimum temperature is 13.1 °C, the mean annual temperature is 20.3 °C and the mean annual maximum temperature is 27.5 °C. The orchard did not receive irrigation and mean annual rainfall was 1,240 mm, distributed from June to September.

The rootstocks (RSs) were transplanted in July 2000 (start of rainy season), at a spacing of 6 x 8 m, and grafted with cv. Hass in May 2001. A total of 14 different clonal RSs previously selected for their tolerance to salinity or drought were included (Salazar-García et al., 2004b) (Table 1). As control, creole seedling RSs with phenotypic characteristics of the West Indian race were included.

The trees were fertilized according to the procedure described by Salazar-García, Cossio-Vargas, and González-Durán (2009). The fertilizers applied were: ammonium sulfate, urea, diammonium phosphate, potassium sulfate, Sul-Po-Mag, calcium carbonate, zinc sulfate and boronat. In plants from zero to three years old, the annual nutrient units (g) applied per tree were: N (38.4), P₂O₅ (103.7), K₂O (95), CaO (300), MgO (131.4), ZnO (33) and B (1.2), and from the fourth year they were: N (330), P₂O₅ (300), K₂O (1125), CaO (1000), MgO (135), ZnO (270) and B (20).

Soil analysis

Two soil samplings were made. The first one was carried out once the RSs were established (September 2000) in five randomly-selected sites. At each site, four subsamples were obtained from 0-30 and 31-60 cm deep. Of the 20 subsamples from each depth, a composite sample was obtained from which its physical and chemical characteristics were determined in the Fertilab laboratory, which is accredited by the Soil Science Society of America's NAPT program (<http://www.naptprogram.org/pap/labs>). The second sampling

García, Borys, & Enríquez-Reyes, 1984b; Salazar-García, Borys, & Enríquez-Reyes, 1984c; Salazar-García et al., 2004a). Una vez afinada la técnica para enraizar tallos de aguacate (Salazar-García, 2002b) se clonaron las selecciones más prometedoras, y en el 2000 se inició en Nayarit su evaluación como portainjertos de 'Hass' (Salazar-García et al., 2004a; Salazar-García, Velasco-Cárdenas, Medina-Torres, & Gómez-Aguilar, 2004b).

Se desconoce si los portainjertos mencionados afectan la concentración nutrimental foliar de 'Hass', de tal forma que tengan que ser considerados para el manejo comercial de su nutrición. Por lo anterior, los objetivos de esta investigación fueron: a) detectar diferencias en la concentración nutrimental foliar de diversos portainjertos clonales de aguacate previo a ser injertados y b) determinar el efecto del portainjerto sobre la concentración foliar de nutrimentos en árboles jóvenes y adultos de 'Hass' cultivados sin riego.

Materiales y métodos

Material vegetal

El huerto de evaluación se ubicó en Platanitos, municipio de Tepic, Nayarit, México, a 1,060 msnm y temperatura promedio anual mínima, media y máxima de 13.1, 20.3 y 27.5 °C, respectivamente. El huerto no recibió riego y la precipitación media anual fue de 1,240 mm, distribuida de junio a septiembre.

Los portainjertos (PI's) se trasplantaron en julio de 2000 (inicio de época de lluvias), a 6 x 8 m, y se injertaron con el cv. Hass en mayo de 2001. Se incluyeron 14 distintos PI's clonales previamente seleccionados por su tolerancia a salinidad o sequía (Salazar-García et al., 2004b) (Cuadro 1). Como testigo se incluyeron PI's originados por semilla (criollos) con características fenotípicas de la raza Antillana.

Los árboles se fertilizaron de acuerdo con el procedimiento descrito por Salazar-García, Cossio-Vargas, y González-Durán (2009). Los fertilizantes aplicados fueron: sulfato de amonio, urea, fosfato diamónico, sulfato de potasio, sulpomag, carbonato de calcio, sulfato de zinc y boronat. En plantas de cero a tres años, las unidades (g) de nutrientes anuales aplicadas por árbol fueron: N (38.4), P₂O₅ (103.7), K₂O (95), CaO (300), MgO (131.4), ZnO (33) y B (1.2), y a partir del cuarto año fueron: N (330), P₂O₅ (300), K₂O (1125), CaO (1000), MgO (135), ZnO (270) y B (20).

Análisis de suelo

Se hicieron dos muestreos de suelo. El primero una vez establecidos los PI's (septiembre 2000) en cinco sitios al azar. En cada sitio se obtuvieron cuatro submuestras, de 0 a 30 y 31 a 60 cm de profundidad. De las 20

Table 1. Avocado rootstocks included in the study.**Cuadro 1. Portainjertos de aguacate incluidos en el estudio.**

Rootstock/ Portainjerto	Race/Raza	No. of trees/ Núm. de árboles
Plat-2	Mexicana	3
Plat-3	Mexicana	3
Plat-4	Mexicana	3
Plat-5	Antillana	3
Plat-6	Antillana	3
Plat-7	Mexicana	3
Plat-8	Guatemalteca	3
Plat-9	Mexicana	3
Plat-10	Mexicana	3
Plat-11	Antillana	3
Plat-14	Mexicana	2
Plat-16	Antillana	2
Plat-17	Antillana	2
Plat-18	Antillana	2
Native/Criollo	Antillana	2

was in September 2007, obtaining a composite sample for the aforementioned depth, although in this case two trees were sampled for each of the one-third sections into which the orchard was divided. Texture, pH (1:2 water) (Hendershot, Lalonde, & Duquette, 2008), organic matter (Nelson & Sommers, 1982), inorganic-N (Keeney & Nelson, 1982), P-Bray (Bray & Kurtz, 1945), K, Ca, Mg (Rhoades, 1982), Na, Fe, Zn, Cu, Mn (Lindsay & Norvell, 1978) and B (Bingham, 1982) were determined.

Leaf sampling prior to grafting

Sampling was conducted in April 2001 to determine the nutritional status of some rootstocks prior to being grafted. Eight clonal rootstocks were included: Plat-2, Plat-3, Plat-4, Plat-5, Plat-6, Plat-7, Plat-8 and Plat-11. For analysis, six-month-old leaves from the first vegetative growth flush after transplant were collected from the middle part of the shoot. Ten mature, healthy and whole leaves were collected from each tree, after which they were washed with tap and distilled water, and then dried in a forced-air oven (Lab Line Mod. Imperial V) at 60 °C for 48 hours. The dried leaves were pulverized in a stainless steel mill (Thomas Scientific, Wiley Mini Mill 3338-L10, Swedesboro, NJ, USA) and sieved in No. 40 mesh.

Chemical analyzes were conducted in the aforementioned lab. Total-N was determined by semi-

submuestras de cada profundidad se obtuvo una muestra compuesta a la que se le determinaron sus características físicas y químicas en el laboratorio Fertilab; el cual está acreditado por el programa NAPT-The Soil Science Society of America (<http://www.naptprogram.org/pap/labs>). El segundo muestreo fue en septiembre de 2007, obteniéndose una muestra compuesta para la profundidad mencionada; aunque en este caso se muestrearon dos árboles para cada uno de los tercios en que fue dividido el huerto. Se determinó textura, pH (1:2 agua) (Hendershot, Lalonde, & Duquette, 2008), materia orgánica (Nelson & Sommers, 1982), N-inorgánico (Keeney & Nelson, 1982), P-Bray (Bray & Kurtz, 1945), K, Ca, Mg (Rhoades, 1982), Na, Fe, Zn, Cu, Mn (Lindsay & Norvell, 1978) y B (Bingham, 1982).

Muestreo foliar previo a la injertación

El muestreo se realizó en abril de 2001 para conocer el estado nutrimental de algunos portainjertos antes de ser injertados. Se incluyeron ocho portainjertos clonales: Plat-2, Plat-3, Plat-4, Plat-5, Plat-6, Plat-7, Plat-8 y Plat-11. Para el análisis se colectaron hojas de seis meses de edad, de la parte media del brote del primer flujo de crecimiento vegetativo posterior al trasplante. De cada planta se colectaron 10 hojas maduras, sanas y completas; las cuales se lavaron con agua corriente y destilada, y después se secaron en horno con aire forzado (Lab Line Mod. Imperial V) a 60 °C durante 48 horas. Las hojas secas se pulverizaron en un molino de acero inoxidable (Thomas Scientific, Wiley Mini Mill 3338-L10, Swedesboro, NJ, USA) y se tamizaron en malla núm. 40.

Los análisis químicos se analizaron en el laboratorio antes mencionado. Se determinó N-total mediante digestión semi-microKjeldahl modificada para incluir NO₃ (Bremer, 1965). El P, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn y Zn se extrajeron por digestión húmeda con una mezcla de HNO₃ y HClO₄ (Jones & Case, 1990) y el K se separó en agua (método de extracción rápida). A excepción del P, se determinaron por absorción atómica empleando un Spectrometer ICE 3000 Series (Thermo Scientific, Madison, Wisconsin, USA) (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 1990). El P se cuantificó por el método del ácido ascórbico y el B se determinó por calcinación mediante el método espectrofotométrico de Azometina-H (Enríquez-Reyes, 1989); ambos en un espectrofotómetro Genesis 20 (Thermo Scientific, Madison, Wisconsin, USA).

Muestreos foliares en injertos de 'Hass'

Para el análisis nutrimental se muestrearon hojas en 14 portainjertos clonales y el testigo. El primer muestreo fue en septiembre de 2004 (tres años después del injerto) y el segundo en agosto de 2007 (seis años después del

microKjeldahl digestion modified to include NO_3 (Bremer, 1965). P, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn and Zn were removed by wet digestion with a mixture of HNO_3 and HClO_4 (Jones & Case, 1990) and K was separated in water (rapid extraction method). With the exception of P, they were determined by atomic absorption using an iCE 3000 Series spectrometer (Thermo Scientific, Madison, Wisconsin, USA) (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 1990). P was quantified by the ascorbic acid method and B was determined by calcination using the azomethine-H spectrophotometric method (Enríquez-Reyes, 1989), both in a Genesis 20 spectrophotometer (Thermo Scientific, Madison, Wisconsin, USA).

Leaf samplings in 'Hass' scions

For the nutritional analysis leaves were sampled in 14 clonal rootstocks and the control. The first sampling was in September 2004 (three years after grafting) and the second in August 2007 (six years after grafting). The number of trees included in each sampling was variable. In each tree 30 healthy, whole leaves, from six to seven months of age from the winter vegetative flush (emerged in February), were collected from the middle part of non-fruit-bearing shoots. The leaves were prepared and analyzed as described in the previous section.

The horticultural influence of rootstock on leaf nutrient concentrations in six-year-old scions was obtained with the "System for leaf nutrient diagnosis of 'Hass' avocado in Nayarit" (Salazar-García, Álvarez-Bravo, & González-Durán, 2015). This system uses leaf nutrient standards for this region and classifies the concentration of nutrients as: deficient, below normal, normal, above normal and excessive.

Fruit production

The harvests from each tree in September-October 2004 and 2007, years in which the leaf samplings were made, were recorded.

Soil moisture and temperature

These parameters were recorded monthly during two water stress periods at 30 cm deep in the north and south directions of the tree's canopy drip area. The first period was from August 2000 to July 2001, taking measurements on five trees per sampling date. The second period was from April to June 2006 and was made in three trees per treatment. Soil suction was quantified with a portable 2900 "Quick Draw" Series tensiometer (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA. USA), graduated from 0-100 centibars (cbar = kPa). Soil temperature was obtained at 14:00 h with an Aquaterr Temp-100 unit (Aquaterr Instruments, Fremont, Calif., U.S.A.).

injerto). La cantidad de árboles incluidos en cada muestreo fue variable. En cada árbol se colectaron 30 hojas completas sanas, de seis a siete meses de edad del flujo vegetativo de invierno (emergidas en febrero), de la parte media de brotes sin fructificar. Las hojas se prepararon y analizaron según lo descrito en la sección anterior.

La influencia hortícola del portainjerto sobre la concentración foliar de nutrimentos en injertos de seis años se obtuvo con el "Sistema para el diagnóstico nutrimental foliar del aguacate 'Hass' en Nayarit" (Salazar-García, Álvarez-Bravo, & González-Durán, 2015). Este sistema emplea estándares nutrimentales foliares para esta región y ubica la concentración de nutrimentos como: deficiente, abajo de lo normal, normal, arriba de lo normal y exceso.

Producción de fruto

Se registraron las cosechas de cada árbol en septiembre-octubre de 2004 y 2007; años en los que se realizaron los muestreos foliares.

Humedad y temperatura del suelo

Estos parámetros se registraron mensualmente durante dos periodos de agobio hídrico a 30 cm de profundidad en las orientaciones norte y sur de la zona de goteo del árbol. El primer periodo fue de agosto de 2000 a julio de 2001, haciéndose mediciones en cinco árboles por fecha de muestreo. El segundo periodo fue de abril a junio de 2006 y se hizo en tres árboles por tratamiento. La succión del suelo se cuantificó con un tensiómetro portátil "Quick Draw" Series 2900 (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA. USA) graduado de 0-100 centibars (cbar = kPa). La temperatura del suelo se obtuvo a las 14:00 h con un Aquaterr, modelo Temp-100 (Aquaterr Instruments, Fremont, Calif., U.S.A.).

Análisis estadístico

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con 14 tratamientos (PI's) más el testigo. La unidad experimental fue un árbol y se empleó diferente número de repeticiones. El análisis de varianza se realizó con el procedimiento GLM del paquete estadístico *Statistical Analysis System* (SAS, 2009) y la comparación de medias con la prueba de Waller-Duncan ($P \leq 0.05$).

Resultados

Análisis de suelo

La fertilidad del suelo al inicio del estudio (2000) y siete años después (2007) mostró algunas variaciones (Cuadro 2). Al inicio, el pH del suelo fue 5.8 y siete años después descendió a 5.1. El contenido de materia

Statistical analysis

A completely randomized experimental design with 14 treatments (RSs), plus the control, was used. The experimental unit was a tree and a different number of replications was used. Analysis of variance was performed using the GLM procedure of the Statistical Analysis System (SAS, 2009) statistical package and comparison of means with the Waller-Duncan test ($P \leq 0.05$).

Results

Soil analysis

Soil fertility at baseline (2000) and seven years later (2007) showed some variations (Table 2). At first, the

orgánica y las concentraciones de P y Ca fueron similares en ambos años. Sin embargo, las concentraciones de N, K, Fe y Zn aumentaron; lo contrario sucedió para Mg y Mn.

Concentración nutrimental foliar de los portainjertos previo a ser injertados

Los distintos PI's no mostraron diferencias en la concentración foliar de ninguno de los nutrientes analizados (Cuadro 3).

Concentración nutrimental foliar en árboles jóvenes y adultos de 'Hass'

Los árboles jóvenes (tres años) no presentaron diferencias en la concentración foliar de nutrientes

Table 2. Physical and chemical characteristics of the soil of the evaluated orchard at baseline (September 2000) and the end of the study (September 2007).

Cuadro 2. Características físicas y químicas del suelo del huerto de evaluación de portainjertos al inicio (septiembre de 2000) y final del estudio (septiembre de 2007).

Determination/ Determinación	September 2000 / Septiembre 2000		September 2007 / Septiembre 2007	
	0 to 30 cm / 0 a 30 cm	31 to 60 cm / 31 a 60 cm	0 to 30 cm / 0 a 30 cm	31 to 60 cm / 31 a 60 cm
Sand (%) / Arena (%)	47.3	49.3	57.6	52.3
Clay (%) / Arcilla (%)	24.5	24.5	11	15.7
Silt (%) / Limo (%)	28.2	26.2	31.3	32
Texture / Textura	Loam / Franco	Sandy-clayey loam / Migajón-arcillo-arenoso	Sandy-loam / Migajón-arenoso	Sandy-loam / Migajón-arenoso
FC (%) / CC (%)	33.3	33.5		
PWP (%) / PMP (%)	16.6	16.7		
Saturation (%) / Saturación (%)	60.0 H / 60.0 A	60.4 VH / 60.4 MuA		
pH (1:2 water) / pH (1:2 agua)	5.8 MoAc	5.9 MoAc	5.1 Ac	5.1 Ac
M.O. (%)	3.1 MoH / 3.1 MoA	1.5 M	3.0 MoH / 3.0 MoA	1.6 M
----- mg.kg ⁻¹ -----				
N-NO ₃	6.9 MoL / 6.9 MoB	0.4 VL / 0.4 MuB	22.6 MoL / 22.6 MoB	12.1 L / 12.1 B
P-Bray	0.9 VL / 0.9 MuB	0.4 VL / 0.4 MuB	0.7 VL / 0.7 MuB	1.2 VL / 1.2 MuB
K	740 H / 740 A	745 H / 745 A	840 H / 840 A	1,275 VH / 1,275 MuA
Ca	1,336 MoL / 1,336 MoB	1,080 MoL / 1,080 MoB	702 MoL / 702 MoB	797 MoL / 797 MoB
Mg	166 L / 166 B	306 M	98 L / 98 B	94 L / 94 B
Na	41.2 VL / 41.2 MuB	73.5 L / 73.5 B	32 VL / 32 MuB	45 VL / 45 MuB
Fe	0.60 L / 0.60 B	0.5 VL / 0.5 MuB	20 MoL / 20 MoB	15 MoL / 15 MoB
Zn	1.4 L / 1.4 B	1.6 L / 1.6 B	20 H / 20 A	2.7 MoL / 2.7 MoB
Mn	12 L / 12 B	3.6 L / 3.6 B	1.3 VL / 1.3 MuB	1.1 VL / 1.1 MuB
Cu	0.1 VL / 0.1 MuB	0.3 L / 0.3 B	0.5 VL / 0.5 MuB	0.2 VL / 0.2 MuB
B	0.6 MoL / 0.6 MoB	0.02 VL / 0.02 MuB	0.4 L / 0.4 B	0.4 L / 0.4 B

FC = field capacity; PWP = permanent wilting point; O.M. = organic matter; Ac = acid; MoAc = moderately acid; VH = very high; H = high; MoH = moderately high; M = medium; VL = very low; L = low; MoL = moderately low.

CC = capacidad de campo; PMP = punto de marchitez permanente; M.O. = materia orgánica; Ac = ácido; MoAc = moderadamente ácido; MuA = muy alto; A = alto; MoA = moderadamente alto; M = mediano; MuB = muy bajo; B = bajo; MoB = moderadamente bajo.

Table 3. Leaf nutrient concentrations in nine-month-old (April 2001) clonal avocado rootstocks after transplantation and prior to being grafted with 'Hass'.**Cuadro 3. Concentración foliar de nutrimentos en portainjertos clonales de aguacate de nueve meses (abril de 2001) después del trasplante y previo a ser injertados con 'Hass'.**

Rootstock/ Portainjerto	n	g·100 g ⁻¹						mg·kg ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Plat-2	3	1.7	0.1	1.3	1.3	0.4	0.1	52	149	117	16	75
Plat-3	3	1.4	0.1	1.3	1.2	0.4	0.1	43	71	84	19	71
Plat-4	2	1.4	0.1	1.3	1.4	0.4	0.1	26	56	97	9	74
Plat-5	3	1.6	0.1	1.4	1.6	0.4	0.1	45	93	146	14	65
Plat-6	3	1.8	0.1	1.1	1.4	0.4	0.1	58	57	156	15	87
Plat-7	3	1.7	0.1	1.1	1.3	0.4	0.1	48	97	104	11	69
Plat-8	3	1.6	0.1	1.4	1.3	0.3	0.1	42	47	134	12	99
Plat-11	3	1.6	0.1	1.2	1.0	0.3	0.1	42	23	46.4	10	77
<i>P > F</i>		0.55	0.69	0.70	0.78	0.70	0.67	0.20	0.41	0.58	0.22	0.08
CV (%)		17.1	12.4	17.4	28.8	22.4	53.5	24.4	85.0	61.2	32.7	16.1

n = number of replications (trees).

n = número de repeticiones (árboles).

Table 4. Leaf nutrient concentrations and production of 'Hass' avocado on different clonal rootstocks three years after grafting (beginning of their productive stage), September 11, 2004.**Cuadro 4. Concentración nutrimental foliar y producción del aguacate 'Hass' sobre distintos portainjertos clonales a los tres años después del injerto (inicio de su etapa productiva), 11 de septiembre de 2004.**

Rootstocks/ Portainjertos	n	Prod. kg·tree ⁻¹ / Prod. kg·árbol ⁻¹	g·100 g ⁻¹						mg·kg ⁻¹				
			N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Plat-2	3	6.5	2.0	0.1	0.9	1.9	0.5	0.1	40	49	259	16	27
Plat-3	3	3.8	1.9	0.1	1.0	2.0	0.5	0.1	33	70	267	15	39
Plat-4	3	2.5	1.9	0.1	1.1	2.4	0.5	0.1	39	90	279	14	49
Plat-5	3	5.7	1.7	0.1	0.9	2.8	0.6	0.1	39	58	423	7	32
Plat-6	3	18.8	2.0	0.1	1.1	2.5	0.6	0.2	37	54	303	15	56
Plat-7	3	2.2	1.9	0.1	0.8	2.5	0.5	0.1	38	90	277	11	59
Plat-8	3	0.5	1.8	0.1	0.8	2.3	0.6	0.1	48	91	222	15	39
Plat-9	3	1.0	2.0	0.1	0.9	2.3	0.7	0.1	40	73	409	17	37
Plat-10	2	2.9	2.0	0.1	1.0	2.1	0.6	0.1	36	75	334	9	24
Plat-11	3	6.2	2.0	0.1	0.9	2.8	0.6	0.2	39	41	325	15	38
Plat-14	2	2.6	2.0	0.1	1.1	2.3	0.5	0.2	30	56	354	9	44
Plat-16	2	5.4	1.8	0.1	0.9	2.2	0.5	0.1	35	36	214	9	68
Plat-17	2	1.3	2.0	0.1	1.2	2.6	0.5	0.1	39	59	214	10	42
Plat-18	2	1.5	1.9	0.1	1.1	2.2	0.6	0.1	38	44	322	10	39
Native/Criollo	2	2.5	2.0	0.1	1.1	2.2	0.5	0.1	36	79	205	9	45
<i>P > F</i>		0.67	0.72	0.61	0.11	0.15	0.72	0.39	0.15	0.80	0.26	0.44	0.63
CV (%)		191.1	9.7	15.7	15.6	14.4	21.0	22.2	13.0	57.3	32.1	42.0	47.9

n = number of replications (trees); Prod. = Production

n = número de repeticiones (árboles); Prod. = Producción

soil pH was 5.8 and seven years later it dropped to 5.1. The organic matter content and the concentrations of Ca and P were similar in both years. However, the concentrations of N, K, Fe and Zn increased, while the opposite occurred for Mg and Mn.

Leaf nutrient concentrations of rootstocks prior to being grafted

The different RSs showed no differences in the leaf concentration of any of the nutrients analyzed (Table 3).

debidas al portainjerto (Cuadro 4). En el caso de árboles adultos (seis años), sólo hubo diferencia ($P \leq 0.033$) en la concentración de P (Cuadro 5). 'Hass' sobre Plat-4 mostró valores superiores de P ($0.11 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) que Plat-17 ($0.09 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), Plat-9 ($0.08 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) y el criollo ($0.08 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). Sin embargo, Plat-14 no difirió estadísticamente de 11 de los portainjertos evaluados.

Seis años después del injerto con 'Hass', el diagnóstico para los nutrientes de mayor relevancia en aguacate mostró lo siguiente: N, ocho PI's con niveles normales (1.7

Table 5. Leaf nutrient concentration, nutrient diagnosis and production of 'Hass' on clonal rootstocks six years after grafting (full production), August 28, 2007.

Cuadro 5. Concentración foliar de nutrientes, diagnóstico nutricional y producción de 'Hass' sobre portainjertos clonales seis años después del injerto (plena producción), 28 de agosto de 2007.

Rootstock/ Portainjertos	n	Prod. kg-tree ⁻¹ / Prod. kg-árbol ⁻¹	g·100 g ⁻¹						mg·kg ⁻¹				
			N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Plat-2	3	44	1.8 N	0.09 abcd ² BN	1.0 N	1.5 N	0.5 N	0.2 N	54 N	54 AN	219 BN	13 BN	26 BN
Plat-3	3	32	1.7 N	0.09 abcd BN	1.2 N	1.7 AN	0.6 N	0.1 BN	72 N	47 N	202 BN	14 BN	23 BN
Plat-4	3	76	1.1 BN	0.11 a N	1.1 N	1.7 AN	0.5 N	0.1 BN	64 N	59 AN	205 BN	19 N	18 BN
Plat-5	3	68	1.6 BN	0.10 abc N	0.9 N	1.8 AN	0.4 N	0.1 BN	72 N	47 N	225 N	14 BN	8 D
Plat-6	3	52	1.7 N	0.10 abc N	1.1 N	1.7 AN	0.5 N	0.2 N	62 N	72 AN	201 BN	13 BN	19 BN
Plat-7	3	60	1.7 N	0.10 abcd N	1.0 N	1.7 AN	0.5 N	0.1 BN	71 N	54 AN	205 BN	14 BN	38 N
Plat-8	3	80	1.7 N	0.10 abc N	0.9 N	1.8 AN	0.6 N	0.1 BN	60 N	41 N	200 BN	13 BN	9 D
Plat-9	3	44	1.7 N	0.08 cd BN	1.0 N	1.7 AN	0.6 N	0.1 BN	66 N	54 AN	302 N	20 N	7 D
Plat-10	2	12	1.5 BN	0.10 abcd N	0.8 N	1.7 AN	0.5 N	0.1 BN	74 N	41 N	185 BN	13 BN	7 D
Plat-11	3	56	1.8 N	0.10 abcd N	1.1 N	1.8 AN	0.6 N	0.2 N	77 N	67 AN	205 BN	18 N	6 D
Plat-14	2	66	1.7 N	0.10 ab N	1.1 N	1.7 AN	0.4 N	0.2 N	63 N	40 N	209 BN	20 N	14 BN
Plat-16	2	12	1.6 BN	0.09 abcd BN	0.9 N	1.6 AN	0.4 N	0.1 BN	61 N	53 AN	213 BN	12 BN	1 D
Plat-17	2	66	1.5 BN	0.09 bcd BN	1.0 N	1.9 AN	0.5 N	0.1 BN	71 N	66 AN	186 BN	14 BN	5 D
Plat-18	2	48	1.5 BN	0.10 ab N	1.1 N	1.7 AN	0.5 N	0.1 BN	73 N	47 N	197 BN	15 BN	9 D
Native/Criollo	2	66	1.6 BN	0.08 d BN	0.9 N	1.9 AN	0.5 N	0.1 BN	74 N	55 AN	186 BN	16 BN	10 D
P > F		0.36	0.38	0.03	0.53	0.98	0.46	0.99	0.36	0.97	0.68	0.09	0.86
CV (%)		57.3	8.5	9.5	14.5	14.0	21.8	15.2	15.0	48.0	25.2	21.3	102.1

n = replications (trees); Prod. = Production.

D = deficient; BN = below normal; N = normal; AN = above normal; E = excessive.

²Means with the same letters in columns do not differ statistically (Waller-Duncan, $P \leq 0.05$).

n = repeticiones (árboles); Prod. = Producción.

D = deficiente; AbN = abajo de lo normal; N = normal; ArN = arriba de lo normal; E = exceso.

²Medias con letras iguales en columnas no difieren estadísticamente (Waller-Duncan, $P \leq 0.05$).

Leaf nutrient concentrations in young and adult 'Hass' trees

Young trees (three years old) showed no differences in leaf nutrient concentrations due to the rootstock (Table 4). In the case of adult trees (six years old), there was only a difference ($P \leq 0.033$) in the P concentration (Table 5). 'Hass' on Plat-4 showed higher values of P ($0.11 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) than Plat-17 ($0.09 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), Plat-9 ($0.08 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) and the native rootstock ($0.08 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). However, Plat-14 did not statistically differ from 11 of the rootstocks evaluated.

Six years after the graft with 'Hass', the diagnosis for the nutrients of greatest importance in avocado showed the following: N, eight RSs with normal levels (1.7 to $1.8 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) and seven below normal ($\leq 1.6 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$); P, normal in nine RSs (0.10 to $0.11 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) and below normal for the rest; K, Mg and Fe, all RSs with normal levels; Ca, all RSs were normal or above normal; Zn, normal in four RSs and below normal in the rest; B, one RS with normal level (Plat-7), eight in deficiency, including the creole one, and the rest below normal (Table 5).

By comparing the dataset of 'Hass' on all the clonal RSs (the control was excluded), it was found that the age of the scion affected leaf nutrient concentrations (Table 6). The values of N, P, Ca, Mn and B were higher in young trees. Adult trees only had a higher concentration of Fe and Zn than young trees.

Influence of the nutrient concentration of rootstocks prior to grafting

Linear correlation analysis was performed for nine clonal RSs in order to look for any type of relationship between the leaf nutrient concentrations of the

a $1.8 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ y siete abajo de lo normal ($\leq 1.6 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$); P, normal en nueve PI's (0.10 a $0.11 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) y abajo de lo normal para el resto; K, Mg y Fe, todos los PI's en normalidad; Ca, todos los PI's estuvieron normal o arriba de lo normal; Zn, normal en cuatro PI's y abajo de lo normal en el resto; B, un PI en normalidad (Plat-7), ocho en deficiencia, incluyendo al criollo y el resto abajo de lo normal (Cuadro 5).

Al comparar el conjunto de datos de 'Hass' sobre todos los PI's clonales (el testigo fue excluido), se encontró que la edad del injerto afectó la concentración foliar de nutrimentos (Cuadro 6). Los valores de N, P, Ca, Mn y B fueron mayores en árboles jóvenes. Los árboles adultos sólo presentaron mayor concentración de Fe y Zn que los jóvenes.

Influencia de la concentración nutrimental de los portainjertos previo al injerto

Se realizó análisis de correlación lineal para nueve PI's clonales buscando alguna relación entre la concentración foliar de nutrimentos del portainjerto antes de ser injertado y la de 'Hass' a los tres y seis años después del injerto. De las 198 correlaciones obtenidas 59 fueron significativas. De los 11 nutrimentos analizados en 'Hass', el B fue el más afectado por el tipo de PI, seguido por P, Ca y S. Adicional al Cu, que no resultó perjudicado, los menos afectados fueron N, Mg y Zn (Cuadro 7).

Los niveles de nutrimentos foliares previos al injerto presentaron mayor número de correlaciones positivas de la concentración foliar de Ca y Mn; así como negativas para B en injertos de 'Hass' de tres años. En el caso de los injertos de 'Hass' de seis años, las principales correlaciones fueron negativas para B y P, así como positivas para S y Fe (Cuadro 7).

Table 6. Leaf nutrient concentrations of 'Hass' on clonal avocado rootstocks grown without irrigation. Samplings made at the beginning of the productive stage (three years after grafting, September 11, 2004) and full production (six years after grafting, August 28, 2007).

Cuadro 6. Concentración nutrimental foliar de 'Hass' sobre portainjertos clonales de aguacate cultivados sin riego. Muestreos realizados al inicio de la etapa productiva (tres años después del injerto, 11 de septiembre de 2004) y plena producción (seis años después del injerto, 28 de agosto de 2007).

Age (years)/ Edad (años)	n	g·100 g ⁻¹						mg·kg ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
3	37	1.9 a ^z	0.10 a	1.0 a	2.3 a	0.56 a	0.14 a	38 b	65 a	302 a	13 b	42 a
6	37	1.6 b	0.09 b	1.0 a	1.7 b	0.52 a	0.14 a	67 a	54 a	213 b	15 a	12 b
P > F		0.001	0.044	0.287	0.001	0.125	0.964	0.001	0.117	0.001	0.016	0.001

n = number of trees

^zMeans with the same letters in columns do not differ statistically (Waller-Duncan, $P \leq 0.05$).

n = número de árboles.

^zMedias con letras iguales en columnas no difieren estadísticamente (Waller-Duncan, $P \leq 0.05$).

rootstock before being grafted and that of 'Hass' at three and six years after grafting. Of the 198 correlations obtained, 59 were significant. Of the 11 nutrients analyzed in 'Hass', B was the most affected by the type of RS, followed by P, Ca and S. In addition to Cu, which was not affected, the least affected were N, Mg and Zn (Table 7).

Leaf nutrient levels prior to grafting showed a higher number of positive correlations for the leaf concentrations of Ca and Mn, and negative correlations for B in three-year-old 'Hass' scions. In the case of six-year-old 'Hass' scions, the main correlations were negative for P and B, and positive for S and Fe (Table 7).

In general, the significance of the correlations varied with the rootstock and nutrient in question. When the correlation was significant, it was positive for N, Ca, Mg, S, Fe, Mn and in one case for Zn and B. The negative correlations occurred for P, K and B, and in one case for Zn. At the level of each rootstock, it was found that Plat-11 was the one which in most cases increased leaf nutrient concentrations, both in three-year-old scions (N, Ca, Mg, S and Mn) and six-year-old ones (Ca, Mg, S, Fe and Mn). However, other rootstocks had a higher

En general, la significancia de las correlaciones varió con el portainjerto y nutrimento en cuestión. Cuando la correlación fue significativa, ésta resultó positiva para N, Ca, Mg, S, Fe, Mn y en un caso para Zn y B. Las correlaciones negativas ocurrieron para P, K, B y en un caso para Zn. Al nivel de cada portainjerto, se encontró que Plat-11 fue el que en más casos incrementó las concentraciones foliares de nutrimentos, tanto en injertos de tres años (N, Ca, Mg, S y Mn) como de seis años (Ca, Mg, S, Fe y Mn). Sin embargo, otros portainjertos tuvieron mayor frecuencia de correlaciones negativas destacando Plat-5 para P, K, Zn y B (injertos de tres años), así como P, K y B (injertos de seis años) y Plat-8, el cual causó reducciones en las concentraciones de P, K y B, en injertos jóvenes y adultos de 'Hass' (Cuadro 7).

Producciones

La producción de fruto de las dos cosechas evaluadas no mostró diferencias significativas entre los portainjertos evaluados. A los tres (2004) y seis (2007) años después del injerto, la producción varió de 0.5 a 18.8 kg·árbol⁻¹ y de 12 a 80 kg·árbol⁻¹, respectivamente (Cuadros 4 y 5).

Table 7. Correlation coefficients between the leaf nutrient concentrations of various clonal rootstocks (RSs) before being grafted (0) and those of cv. Hass at three (3) and six (6) years after engraftment.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación entre la concentración de nutrimentos foliar de varios portainjertos (PI's) clonales antes de ser injertados (0) y la del cv. Hass a los tres (3) y seis (6) años después del injerto.

Rootstock/ Portainjerto	Age/ Edad	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Plat-2	0 vs 3	0.54 ns	-0.80 *	-0.50 ns	0.63 ns	0.30 ns	0.42 ns	-0.51 ns	-0.56 ns	0.65 ns	-0.01 ns	-0.89 *
	0 vs 6	0.19 ns	-0.91 **	-0.49 ns	0.34 ns	0.26 ns	0.58 ns	0.10 ns	-0.54 ns	0.59 ns	-0.46 ns	-0.94 **
Plat-3	0 vs 3	0.75 ns	-0.69 ns	-0.67 ns	0.98 **	0.72 ns	0.03 ns	-0.52 ns	-0.01 ns	0.92 **	-0.32 ns	-0.75 ns
	0 vs 6	0.73 ns	-0.80 ns	-0.45 ns	0.68 ns	0.67 ns	0.13 ns	0.85 *	-0.39 ns	0.85 *	-0.41 ns	-0.90 **
Plat-4	0 vs 3	0.99 **	-0.69 ns	-0.84 ns	0.97 *	0.91 ns	0.93 ns	0.93 *	0.22 ns	0.94 ns	0.62 ns	-0.52 ns
	0 vs 6	-0.89 ns	0.85 ns	0.86 ns	-0.79 ns	-0.64 ns	-0.73 ns	-0.84 ns	0.46 ns	-0.57 ns	-0.90 ns	0.98 *
Plat-5	0 vs 3	0.72 ns	-0.84 *	-0.94 **	0.89 *	0.88 *	0.67 ns	-0.46 ns	-0.39 ns	0.82 *	-0.90 *	-0.87 *
	0 vs 6	0.15 ns	-0.87 *	-0.93 **	0.30 ns	0.17 ns	0.81 *	0.92 **	-0.52 ns	0.59 ns	0.19 ns	-0.94 **
Plat-6	0 vs 3	0.31 ns	-0.80 ns	-0.08 ns	0.89 *	0.69 ns	0.98 ns	-0.75 ns	-0.06 ns	0.69 ns	0.02 ns	-0.92 **
	0 vs 6	-0.43 ns	-0.85 *	0.02 ns	0.63 ns	0.77 ns	0.87 *	0.25 ns	0.23 ns	0.55 ns	-0.35 ns	-0.94 **
Plat-7	0 vs 3	0.41 ns	-0.61 ns	-0.71 ns	0.95 **	0.74 ns	0.81 *	-0.54 ns	-0.08 ns	0.86 *	-0.04 ns	-0.19 ns
	0 vs 6	1.00 **	-0.04 ns	-0.40 ns	0.72 ns	0.57 ns	0.94 **	0.77 ns	-0.41 ns	0.70 ns	0.95 **	-0.87 *
Plat-8	0 vs 3	0.04 ns	-0.82 *	-0.95 **	0.76 ns	0.75 ns	0.67 ns	0.85 *	0.71 ns	0.71 ns	0.24 ns	-0.93 **
	0 vs 6	0.26 ns	-0.91 **	-0.92 **	0.55 ns	0.76 ns	0.81 *	0.89 *	-0.16 ns	0.49 ns	0.28 ns	-0.98 **
Plat-11	0 vs 3	0.87 *	-0.45 ns	-0.83 *	0.96 **	0.84 *	0.93 **	-0.31 ns	0.52 ns	0.96 **	0.78 ns	-0.91 **
	0 vs 6	0.63 ns	-0.79 ns	-0.47 ns	0.91 **	0.94 **	0.96 **	0.88 *	0.73 ns	0.98 **	0.70 ns	-0.98 **

* = $P \leq 0.05$; ** = $P \leq 0.01$; ns = not significant.

* = $P \leq 0.05$; ** = $P \leq 0.01$; ns = no significativa.

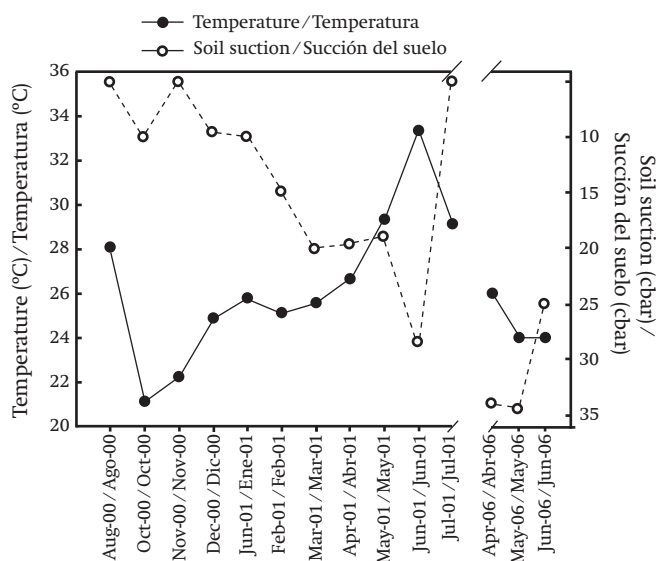


Figure 1. Soil temperature and suction at 30 cm deep in the evaluated rootstock orchard; August 2000 to July 2001 and April to June 2006.

Figura 1. Temperatura y succión del suelo a 30 cm de profundidad en el huerto de evaluación de portainjertos; agosto de 2000 a julio de 2001 y de abril a junio de 2006.

frequency of negative correlations, highlighted by Plat-5 for P, K, Zn and B (three-year-old scions), as well as P, K and B (six-year-old scions), and Plat-8, which caused reductions in the concentrations of P, K and B in young and adult 'Hass' scions (Table 7).

Crop production

Fruit production of the two harvests evaluated showed no significant differences among the rootstocks evaluated. At three (2004) and six (2007) years after grafting, crop production ranged from 0.5 to 18.8 kg·tree⁻¹ and from 12 to 80 kg·tree⁻¹, respectively (Tables 4 and 5).

Analysis of overall correlation of the fruit productions (2004 and 2007) and leaf nutrient concentrations of the 'Hass' scions in those years showed positive association ($P \leq 0.0001$) of N ($r = 0.486$), P ($r = 0.486$), K ($r = 0.497$), Ca ($r = 0.483$), Mg ($r = 0.504$), S ($r = 0.509$) and Zn ($r = 0.289$). On the other hand, the association of those variables was negative ($P \leq 0.0001$) for Cu ($r = -0.443$), Fe ($r = -0.412$) and Mn ($r = -0.857$). There was no correlation between leaf B concentration and the production obtained (data not shown).

Soil moisture and temperature

Soil temperatures remained within the range of 21 °C (October) to 33 °C (June). The highest temperature occurred before the rainy season (June) and the lowest in October when the rains ended (Figure 1).

El análisis de correlación global de las producciones de fruto (2004 y 2007) y las concentraciones nutrimentales foliares de los injertos de 'Hass' en dichos años mostró asociación positiva ($P \leq 0.0001$) de N ($r = 0.486$), P ($r = 0.486$), K ($r = 0.497$), Ca ($r = 0.483$), Mg ($r = 0.504$), S ($r = 0.509$) y Zn ($r = 0.289$). Por otro lado, la asociación de dichas variables resultó negativa ($P \leq 0.0001$) para Cu ($r = -0.443$), Fe ($r = -0.412$) y Mn ($r = -0.857$). No hubo correlación entre la concentración foliar de B y la producción obtenida (no se muestran datos).

Humedad y temperatura del suelo

Las temperaturas del suelo se mantuvieron en el intervalo de 21 °C (octubre) a 33 °C (junio). La temperatura más alta ocurrió previo al periodo de lluvias (junio) y la más baja en octubre, cuando concluyeron las lluvias (Figura 1).

Durante la época de lluvias y poco después (agosto a noviembre), la humedad del suelo fue elevada (5 a 10 cbar). A partir de diciembre la humedad disminuyó progresivamente hasta 34 cbar (en 2000) y 37 cbar (en 2006) en época de máxima sequía edáfica.

Discusión

El descenso del pH (5.8 a 5.1) del suelo del huerto fue notorio siete años después de su establecimiento. Sin embargo, Salazar-García (2002a) mencionó que en Michoacán y Nayarit, México, es común que el aguacate sea cultivado exitosamente en suelos con pH entre 4.8 y 6.5. Los contenidos de algunos nutrientes no variaron entre muestreos de suelo, otros se incrementaron y otros descendieron. No obstante, los árboles no mostraron síntomas de deficiencias nutrimentales en el follaje y fruto.

La concentración foliar de nutrimentos no varió entre los distintos portainjertos, previo al injerto, ni tres años después. Ningún portainjerto clonal evaluado difirió entre ellos ni con el criollo. Algo similar ocurrió seis años después del injerto, ya que la única diferencia entre los PI's empleados fue para P, destacando el Plat-4 (raza Mexicana) con la mayor concentración y el criollo (raza Antillana) con la menor (Cuadro 5). Sin embargo, no se detectó relación entre la raza del portainjerto y la concentración foliar de nutrimentos.

El diagnóstico nutrimental foliar permitió identificar interacciones nutrimentales 'Hass'/portainjerto de interés para el manejo de la nutrición. En este sentido, los PI's que favorecieron concentraciones normales o arriba de lo normal de los macronutrimentos N, P, K, Ca y Mg fueron Plat-6, Plat-8, Plat-11, Plat-14 y Plat-7, este último fue el único que favoreció normalidad para B. Resultó interesante que el criollo, referido localmente como "adaptado a la región" propició niveles abajo de

During the rainy season and shortly thereafter (August to November), soil moisture was high (5 to 10 cbar). From December moisture gradually decreased to 34 cbar (in 2000) and 37 cbar (in 2006) at the time of maximum soil drought.

Discussion

The decrease in soil pH (5.8 to 5.1) was noticeable seven years after the orchard's establishment. However, Salazar-García (2002a) mentioned that in Michoacán and Nayarit, Mexico, it is common for avocado to be grown successfully in soils with pH between 4.8 and 6.5. The contents of some nutrients did not change between soil samplings, while others increased and others decreased. However, the trees showed no symptoms of nutritional deficiencies in the foliage and fruit.

Leaf nutrient concentrations did not vary among the different rootstocks prior to grafting, or three years later. No clonal rootstock evaluated differed from the others or with the creole one. Something similar happened six years after grafting, since the only difference among the RSs used was for P, highlighted by Plat-4 (Mexican race) with the highest concentration and the native rootstock (West Indian race) with the lowest (Table 5). However, no relationship between rootstock race and leaf nutrient concentrations was detected.

The leaf nutritional diagnosis identified 'Hass'/rootstock nutrient interactions of interest for nutrition management. In this sense, the RSs that favored normal or above normal concentrations of the macronutrients N, P, K, Ca and Mg were Plat-6, Plat-8, Plat-11, Plat-14 and Plat-7, with the last being the only one that favored a normal B level. Interestingly, the native creole rootstock, locally referred to as "adapted to the region," led to below normal levels of N, P, S, Mn, Zn and deficiency of B. This may explain the chronic deficiency of Zn and B in 'Hass' orchards in Nayarit (Salazar-García, Ibarra-Estrada, Gutiérrez-Martínez, & Medina-Torres, 2014).

In California, Mickelbart et al. (2007) found differences in leaf nutrient concentrations in 'Hass' on 10 different clonal rootstocks, although most nutrients were close to or within the optimal standards recommended for California. Additionally, they found differences in their ability to supply nutrients to the 'Hass' scions. This is consistent, since it is known that the roots of rootstocks often vary in their ability to absorb and transport nutrients to the aerial part of the tree.

In the present study, the higher leaf nutrient concentrations in young trees (three years old) than in adults (six years old) can be attributed to lower crop nutrient demand in the young trees or to an interannual

lo normal de N, P, S, Mn, Zn y deficiencia de B. Esto puede explicar la deficiencia crónica de Zn y B en huertos de 'Hass' en Nayarit (Salazar-García, Ibarra-Estrada, Gutiérrez-Martínez, & Medina-Torres, 2014).

En California, Mickelbart et al. (2007) encontraron diferencias en la concentración foliar de nutrimentos en 'Hass' sobre 10 distintos portainjertos clonales; aunque, la mayoría de los nutrimentos estuvieron cerca o dentro de los estándares óptimos recomendados para California. Adicionalmente, encontraron diferencias en su habilidad para suministrar nutrimentos a los injertos de 'Hass'. Esto es congruente, ya que se sabe que las raíces de los portainjertos suelen variar en su habilidad para absorber y transportar nutrientes a la parte aérea del árbol.

En el presente estudio, la mayor concentración foliar de nutrimentos en árboles jóvenes (tres años) que en adultos (seis años) puede ser atribuida a una demanda menor de nutrimentos por la cosecha en los árboles jóvenes o a una variación interanual. En árboles adultos de aguacate 'Fuerte', sobre portainjertos de semilla de raza Mexicana, se observaron concentraciones foliares mayores de N, K y Ca en el primer año de muestreo, y en el segundo fueron de P y Mg (Herrera-Basurto et al., 2008).

Los resultados de la presente investigación corresponden a árboles que no recibieron riego. Al considerar el incremento en la demanda nutrimental, debido a la edad de los árboles (biomasa y fructificación), se teoriza que los portainjertos deben expresar sus habilidades para tomar del suelo agua y nutrientes para satisfacer la demanda. El hecho de que en injertos adultos (seis años) hubo mayor concentración foliar de Fe y Zn difiere de lo señalado por Havlin, Beaton, Tisdale, y Nelson (1999), en el sentido de que la baja humedad del suelo puede inducir deficiencias en estos nutrimentos. En el presente estudio la humedad del suelo fue ligeramente mayor en árboles jóvenes (hasta 34 cbar) que en adultos (hasta 37 cbar). Sin embargo, como ya se mencionó, todos los portainjertos incluidos en esta evaluación, excepto el criollo, fueron seleccionados por su tolerancia a salinidad o sequía, lo que puede explicar la reducida presencia (excepto B) de concentraciones foliares deficientes. Los portainjertos pueden presentar diferencias en la anatomía de la raíz, en las características de los vasos del xilema secundario y en el movimiento de la tasa de agua (Fassio, Heath, Arpaia, & Castro, 2009; Reyes-Santamaría, Terrazas, Barrientos-Priego, & Trejo, 2002); lo cual puede variar entre razas de aguacate.

De manera general, las principales correlaciones entre los niveles de nutrimentos de los PI's, previo al injerto, y las de los injertos de 'Hass' de seis años fueron negativas para B y P, y positivas para S y Fe. No obstante, los PI's

variation. In adult 'Fuerte' avocado trees on Mexican race rootstock seedlings, higher leaf concentrations of N, K and Ca were observed in the first year of sampling, and in the second they were of P and Mg (Herrera-Basurto et al., 2008).

The results of the present research correspond to trees that were not irrigated. When considering the increase in nutrient demand, due to the age of the trees (biomass and fruiting), it is theorized that the rootstocks must express their abilities to take water and nutrients from the soil to meet demand. The fact that the adult scions (six years old) had a higher leaf concentration of Fe and Zn differs from the findings reported by Havlin, Beaton, Tisdale, and Nelson (1999), in the sense that the low soil moisture can induce deficiencies in these nutrients. In the present study the soil moisture was slightly higher in young trees (up to 34 cbar) than in adults (up to 37 cbar). However, as already mentioned, all the rootstocks included in this evaluation, except the creole one, were selected for their tolerance to salinity or drought, which may explain the reduced presence (except B) of deficient leaf concentrations. Rootstocks may differ in the anatomy of the root, the characteristics of the secondary xylem vessels and the rate of water movement (Fassio, Heath, Arpaia, & Castro, 2009; Reyes-Santamaría, Terrazas, Barrientos-Priego, & Trejo, 2002), which can vary among avocado races.

Generally, the main correlations between the nutrient levels of the RSs, prior to grafting, and those of the six-year-old 'Hass' scions were negative for B and P and positive for S and Fe. However, the RSs showed different behavior, such as Plat-11, which consistently increased the concentrations of Ca, Mg, S and Mn in three- and six-year-old 'Hass' scions. Other RSs, such as Plat-5 and Plat-8, were characterized by lowering the concentrations of P, K and B in three- and six-year-old 'Hass' scions. In any case, this quality of the aforementioned RSs can help manage their fertilization. Mickelbart et al., 2007 mentioned that RSs should allow the productive potential of the scion to be expressed, although this factor is usually relegated to second place after the material has been selected primarily based on its tolerance to a specific stress.

The 'Hass' productions obtained in 2004 and 2007 showed no differences among the rootstocks evaluated. In California, Arpaia, Bender, and Witney (1992) evaluated different RSs grafted with the cv. Hass where 'Duke 7' and 'Borchard' stood out with 103.5 and 93.1 kg·tree⁻¹. The latter production resembles that recorded in our study for 2007 in Plat-8 (80 kg·tree⁻¹ amounting to 16.7 t·ha⁻¹).

Under the conditions in which this research was conducted, positive correlations between 'Hass' production and leaf concentrations of N, P, K, Ca,

mostraron diferente comportamiento, como Plat-11, que incrementó consistentemente las concentraciones de Ca, Mg, S y Mn en 'Hass' de tres y seis años de edad. Otros PI's, como Plat-5 y Plat-8 se caracterizaron por disminuir las concentraciones de P, K y B en injertos de 'Hass' de tres y seis años. En todo caso, esta cualidad de los PI's mencionados puede ayudar al manejo de su fertilización. Mickelbart et al., 2007 consideran que los PI's deben permitir que el potencial de producción del injerto se exprese, aunque esto suele pasar a segundo término después de que el material ha sido seleccionado primeramente en función de su tolerancia a algún factor de estrés.

Las producciones de 'Hass' obtenidas en 2004 y 2007 no mostraron diferencias entre los portainjertos evaluados. En California, Arpaia, Bender, y Witney (1992) evaluaron diferentes PI's injertados con el cv. Hass en donde sobresalieron 'Duke 7' y 'Borchard' con 103.5 y 93.1 kg·árbol⁻¹. Esta última producción se asemeja a lo registrado en nuestro estudio para 2007 en Plat-8 (80 kg·árbol⁻¹ que equivale a 16.7 t·ha⁻¹).

En las condiciones donde se realizó este trabajo, se establecieron correlaciones positivas entre la producción de 'Hass' y las concentraciones foliares de N, P, K, Ca, Mg, S y Zn, así como correlaciones negativas con Cu, Fe y Mn; todos nutrimentos de importancia para la producción del aguacate. Lo anterior reflejó que varios portainjertos fueron hábiles para absorber y transportar nutrimentos del suelo, sobre todo en condiciones de baja disponibilidad de humedad y nutrientes (con excepción del K) como en el sitio donde se realizó el estudio.

Conclusiones

El constante estrés biótico y abiótico que limita la producción de aguacate 'Hass' en México estimulará el uso de portainjertos clonales para mantener la productividad de los huertos. En preparación para ello, en esta investigación se determinó que: a) árboles jóvenes de 'Hass', cultivados sin riego, sobre diversos portainjertos clonales tuvieron concentración mayor de nutrimentos que los árboles adultos, b) los portainjertos clonales no modificaron la concentración foliar de nutrimentos en árboles jóvenes de 'Hass' y en árboles adultos sólo la de fósforo, c) el tipo de portainjerto clonal empleado no afectó la producción de fruto por árbol. Lo anterior permitirá manejar, a nivel comercial, la nutrición de los portainjertos estudiados.

Fin de la versión en español

Mg, S and Zn, as well as negative correlations with Cu, Fe and Mn, all important nutrients for avocado production, were established. This indicates that several rootstocks were able to absorb and transport nutrients from the soil, especially in low moisture and nutrient (except K) availability conditions, as in the site where the study was conducted.

Conclusions

The constant biotic and abiotic stresses limiting 'Hass' avocado production in Mexico will encourage the use of clonal rootstocks to maintain the productivity of the orchards. In preparation for this, this research determined that: a) young 'Hass' trees, grown without irrigation, on various clonal rootstocks had a higher concentration of nutrients than adult trees, b) clonal rootstocks did not change leaf nutrient concentrations in young 'Hass' trees and in adult trees only that of phosphorus, c) the type of clonal rootstock used did not affect per-tree fruit production. This will make it possible to manage, at commercial level, the nutrition of the studied rootstocks.

End of English version

References / Referencias

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1990). *Official methods of analysis* (pp. 918). Arlington, Virginia, USA: Author
- Arpaia, M. L., Bender, G. S., & Witney, G. W. (1992). *Avocado clonal rootstock production trial*. Orange, California, USA: Proc. of second world avocado congress. Retrieved from http://www.avocadosource.com/WAC2/WAC2_p305.pdf
- Bingham, F. T. (1982). Boron. In: Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2* (2a. ed., pp. 431-446). Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
- Bray, R. H., & Kurtz L. T. (1945). Determination of total, organic and available phosphorus in soil. *Soil Science*, 59, 39-45.
- Bremer, J. M. (1965). Total nitrogen. In: Black, C. A. (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 2*. (pp. 1135-1147). Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
- Embleton, T. W., Matsumura, M., Storey, W. B., & Garber, M. J. (1962). Chlorine and other elements in avocado leaves as influenced by rootstock. *Proceedings of the American Society for Horticultural Sciences*, 80, 231-236. Retrieved from http://www.avocadosource.com/journals/ashs/ASHS_1962_80_PG_231-236.pdf
- Enríquez-Reyes, S. (1989). Análisis de boro en suelos y plantas mediante el método de Azometina-H. México. *Terra*, 7(1), 13-20.
- Fassio, C., Heath, R., Arpaia, M. L., & Castro, M. (2009). Sap flow in 'Hass' avocado trees on two clonal rootstocks in relation to xylem anatomy. *Scientia Horticulturae*, 120(1), 8-13. doi:10.1016/j.scienta.2008.09.012
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (1999). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. England: Prentice-Hall, Inc.
- Hendershot, W. H., Lalonde, H., & Duquette, M. (2008). Soil reaction and exchangeable acidity. In: Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (Eds.), *Soil sampling and methods of analysis* (2a ed., pp. 173-178). Boca Raton, Florida: Canadian Society of Soil Science.
- Herrera-Basurto, J., Martínez-Damián, M. T., Castillo-González, A. M., Barrientos-Priego, A. F., Colinas-León, M. T., Pérez-Mercado, C. A., & Aguilar-Melchor, J. J. (2008). Concentración nutrimental en hoja, cáscara y pulpa de aguacate cv. Fuerte por efecto de aspersiones foliares de nitrato de calcio. *Agricultura Técnica en México*, 34(3), 289-295. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000300003
- Jones, B. Jr., & Case, V. W. (1990). Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In: Westerman, R. L. (Ed.), *Soil testing and plant analysis* (2a. ed., pp. 390-426). Madison Wisconsin: Soil Science Society of America.
- Keeney, D. R., & Nelson, D. W. (1982). Nitrogen- inorganic forms. In: Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2* (2a ed., pp. 403-430). Madison Wisconsin: Soil Science Society of America.
- Labanauskas, C. K., Stolzy, L. H., & Zentmyer, G. A. (1978). Rootstock, soil oxygen and soil moisture effects on growth and concentration of nutrients in avocado plants. *California Avocado Society Yearbook*, 62, 118-125. Retrieved from http://www.avocadosource.com/cas_yearbooks/cas_62_1978/cas_1978_118.pdf
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428. doi: 10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x
- Marques, J. R., Hofman, P. J., & Wearing, A. H. (2003). Rootstocks influence 'Hass' avocado fruit quality and fruit minerals. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 78(5), 673-679. doi: 10.1080/14620316.2003.11511683
- Mickelbart, M. V., Bender, G. S., Witney, G. W., Adams, C., & Arpaia, M. L. (2007). Effects of clonal rootstocks on 'Hass' avocado yield components, alternate bearing, and nutrition. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 82(3), 460-466. doi: 10.1080/14620316.2007.11512259
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2* (2a ed., pp. 539-594). Madison Wisconsin: Soil Science Society of America.
- Reyes-Santamaría, I., Terrazas, T., Barrientos-Priego, A. F., & Trejo, C. (2002). Xylem conductivity and vulnerability in cultivars and races in avocado. *Scientia Horticulturae*, 92(2), 97-105. doi: 10.1016/S0304-4238(01)00284-9

- Rhoades, J. D. (1982). Cation exchange capacity. In: Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 2* (2a ed., pp. 149-157). Madison Wisconsin: Soil Science Society of America.
- SAGARPA-SIAP (2014). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Servicio de Información y estadística Agroalimentaria y Pesquera (Nov. 27, 2014). Retrieved from <http://www.siap.gob.mx/>
- Salazar-García, S. (2002a). *Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones* (pp. 165). México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias e Instituto de la Potasa y el Fósforo.
- Salazar-García, S. (2002b). *Producción de portainjertos clonales de aguacate mediante enraizamiento de tallos y raíces* (Publicación técnica, núm. 1., pp. 31). México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Salazar-García, S., Álvarez-Bravo, A., & González-Durán, I. J. L. (2015). *Sistema para el diagnóstico nutrimental foliar del aguacate 'Hass' en Nayarit*. INIFAP, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Programa de cómputo. Retrieved from http://cesix.inifap.gob.mx/frutalestropicales/nutrifolnayarit_inicio.php
- Salazar-García, S., Borys, M. W., & Enríquez-Reyes, S. A. (1984a). Tolerancia de aguacates a condiciones de salinidad progresiva. I. Selección de plantas. *Revista Chapingo*, 9(45/46), 9-13.
- Salazar-García, S., Borys, M. W., & Enríquez-Reyes, S. A. (1984b). Tolerancia de aguacates a condiciones de salinidad progresiva. II. Crecimiento de plantas. *Revista Chapingo*, 9(45/46), 14-15.
- Salazar-García, S., Borys, M. W., & Enríquez-Reyes, S. A. (1984c). Tolerancia de aguacates a condiciones de salinidad progresiva. III. Caracterización de plantas sobresalientes. *Revista Chapingo*, 9(45/46), 16-19.
- Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L. E., & González-Durán I. J. L. (2009). La fertilización de sitio específico mejoró la productividad del aguacate 'Hass' en huertos sin riego. *Agricultura Técnica en México*, 35(4), 439-448. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60812274009>
- Salazar-García, S., Ibarra-Estrada, M. E., Gutiérrez-Martínez, P., & Medina-Torres, R. (2014). *Fertilización con zinc y boro en huertos de aguacate 'Hass' sin riego en Nayarit* (pp. 100). Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Salazar-García, S., Velasco-Cárdenas, J. J., Medina-Torres, R., & Gómez-Aguilar, J. R. (2004a). Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos. I. Prendimiento y crecimiento de injertos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27, 23-30. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027104>
- Salazar-García, S., Velasco-Cárdenas, J. J., Medina-Torres, R., & Gómez-Aguilar, J. R. (2004b). Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos. II. Respuesta al enraizamiento mediante acodos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(2), 183-190. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027209>
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2009). *SAS User's Guide: Version 9.1*. Cary, N.C. USA: Author.