

Efecto de localidad y madurez sobre el perfil de ácidos grasos del fruto de aguacate ‘Hass’*

Effect of locality and maturity on the fatty acid profile of avocado ‘Hass’ fruit

Salvador Horacio Guzmán-Maldonado^{1§}, Jorge Alberto Osuna-García² y Juan Antonio Herrera-González³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Bajío. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya Guanajuato. Tel. 01 (553) 8718700, ext. 85233. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. CP. 63300. Tel. 01 (553) 8718700, ext. 84415. (osuna.jorgealberto@inifap.gob.mx). ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Uruapan. Avenida Latinoamericana 1101, Uruapan, Michoacán. México. CP. 60150. Tel. 01 (553) 8718700, ext. 84202. (herrera.juanantonio@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: guzman.horacio@inifap.gob.mx.

Resumen

En México se cosechan al año 77 000 t de aguacate ‘Hass’. Su contenido en ácidos grasos omega lo hace atractivo debido a sus efectos benéficos a la salud, por lo que es importante conocer la calidad de su aceite. Se cosecho fruto en estado verde en tres localidades, Nayarit, Michoacán y Jalisco. Los tres lotes de fruto se dividieron en dos grupos; el primero fue liofilizado inmediatamente, mientras que el segundo se dejó madurar hasta punto de consumo. Se determinó la materia seca, el contenido de aceite y el perfil de ácidos grasos. El fruto verde presentó el menor rango en el contenido de aceite (12.3 - 15.5%) en comparación con el fruto maduro (12.7 - 17.8%). El aguacate maduro de Jalisco presentó mayor contenido de aceite (17.8%) en comparación con el de Nayarit (12.7%) y Michoacán (17.3%). El contenido de ácidos grasos saturados se redujo hasta 28% por efecto de la maduración, mientras que el ácido oleico y el linoleico se incrementaron 20%. La localidad de siembra afecta significativamente el contenido de ácido oleico; a menor altitud el contenido de este ácido se disminuye hasta 14%. Los datos sugieren una posible designación de origen para el aguacate Mexicano.

Abstract

In Mexico 77 000 t of avocado ‘Hass’ are harvested per year. Its omega fatty acid content makes it attractive due to its beneficial health effects, so it is important to know the quality of your oil. The harvested fruit in a green state in three localities, Nayarit, Michoacán and Jalisco. The three batches of fruit were divided into two groups; the former was lyophilized immediately, while the latter was allowed to mature to the point of consumption. The dry matter, the oil content and the fatty acid profile were determined. The green fruit presented the lowest range in the oil content (12.3 - 15.5%) compared to the mature fruit (12.7 - 17.8%). The mature Jalisco avocado showed higher oil content (17.8%) compared to Nayarit (12.7%) and Michoacán (17.3%). The content of saturated fatty acids was reduced to 28% by maturation, while oleic acid and linoleic acid increased by 20%. The planting location significantly affects the content of oleic acid; at lower altitudes the content of this acid is reduced up to 14%. The data suggest a possible origin designation for Mexican avocado.

Palabras clave: *Persea americana* Miller, contenido de aceite, cosecha, materia seca.

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es un fruto tropical-subtropical altamente apreciado a nivel mundial. Los principales países consumidores son Estados Unidos de América, México, Canadá, Francia y Japón, siendo ‘Hass’ el más consumido (Ferreyra *et al.*, 2016; APEAM, 2017). México es el mayor productor de aguacate en el mundo, con un volumen de 1.5 millones de toneladas anuales que representa 28.5% de la producción mundial (FAOSTAT, 2014). La mayor superficie establecida con este cultivo se localiza en la región occidente del país, en Michoacán (134 941 ha), Jalisco (17 040 ha), Estado de México (8 162 ha) y Nayarit (5 385 ha). Estos cuatro estados concentran 88% de la producción nacional cuyo valor de producción supera los 21 mil millones de pesos (SIAP, 2015). En el país, el estado de mayor producción es Michoacán con aproximadamente 1.2 millones de toneladas.

La pulpa del aguacate se caracteriza por su valor nutrimental y nutraceutico debido al alto contenido de ácidos grasos poli-insaturados que representan aproximadamente 80% de los ácidos grasos presentes en el mesocarpio de este fruto (Donetti y Terry, 2014). Entre los ácidos grasos saturados reportados para el aguacate sobresale el ácido palmítico, mientras que el ácido oleico es el mayoritario de los ácidos grasos insaturados. Sin embargo, las condiciones agroclimáticas de cada zona de cultivo dentro y entre países varían generando modificaciones en la composición química de la pulpa del aguacate (Ferreyra *et al.*, 2016). Por ejemplo, se ha reportado que el contenido de aceite y la composición de ácidos grasos del aguacate sembrado en España, se modifica por los efectos de la localidad donde se produce y por el estado de madurez del fruto (Donetti y Terry, 2014).

También se ha reportado que el fruto del aguacate ‘Hass’ acumula diferentes cantidades de ácido linoleico, dependiendo del estado de madurez del fruto (Pedreschi *et al.*, 2014). Por otro lado, Donetti y Terry (2014) sugirieron que el contenido de ácido oleico puede ser un marcador biológico para identificar el lugar de origen del fruto del aguacate ‘Hass’. Estos autores reportaron que el aguacate proveniente de Chile presenta el mayor contenido de ácido oleico (57-61%), mientras que el español y el peruano muestran contenido de entre 54-60% y 40-47%, respectivamente. Al

Keywords: *Persea americana* Miller, dry matter, harvest, oil content.

Introduction

The avocado (*Persea americana* Mill.) Is a tropical fruit-subtropical highly appreciated worldwide. The main consuming countries are the United States of America, Mexico, Canada, France and Japan, with ‘Hass’ being the most consumed (Ferreyra *et al.*, 2016; APEAM, 2017). Mexico is the largest producer of avocado in the world, with a volume of 1.5 million tons per year that represents 28.5% of world production (FAOSTAT, 2014). The largest area established with this crop is located in the western region of the country, in the states of Michoacán (134 941 ha), Jalisco (17 040 ha), State of Mexico (8 162 ha) and Nayarit (5 385 ha). These four states concentrate 88% of the national production whose production value exceeds 21 billion pesos (SIAP, 2015). In the country, the state of greatest production is Michoacán with approximately 1.2 million tons.

The avocado pulp is characterized by its nutritional and nutraceutical value due to the high content of polyunsaturated fatty acids that represent approximately 80% of the fatty acids present in the mesocarp of this fruit (Donetti and Terry, 2014). Among the saturated fatty acids reported for avocado palmitic acid stands out, while oleic acid is the majority of unsaturated fatty acids. However, the agroclimatic conditions of each growing zone within and between countries vary producing changes in the chemical composition of the avocado pulp (Ferreyra *et al.*, 2016). For example, it has been reported that the oil content and fatty acid composition of avocado planted in Spain is modified by the effects of the locality where it is produced and by the fruit’s maturity stage (Donetti and Terry, 2014).

It has also been reported that the fruit of the avocado ‘Hass’ accumulates different amounts of linoleic acid, depending on the maturity stage of the fruit (Pedreschi *et al.*, 2014). On the other hand, Donetti and Terry (2014) suggested that the oleic acid content may be a biological marker to identify the place of origin of the avocado ‘Hass’ fruit. These authors reported that avocado from Chile has the highest content of oleic acid (57-61%), while Spanish and Peruvian content is between 54-60% and 40-47%, respectively. When defining the level of oleic acid in any area or country that produces

definir el nivel de ácido oleico de cualquier zona o país que produzca aguacate permitirá establecer un marcador propio con fines de certificación en la protección de la designación de origen (PDO) (Pedreschi *et al.*, 2016).

Por otro lado, se conoce que los ácidos grasos presentes en el aguacate 'Hass' son 71% monoinsaturados, 13% poliinsaturados y 16% saturados (Dreher y Davenport, 2013). Se ha reportado que la composición de ácidos grasos del aceite del aguacate tiene varias propiedades biológicas benéficas; por ejemplo, incrementa la absorción de vitaminas liposolubles y otros compuestos benéficos para el ser humano y tiene efectos benéficos sobre la salud cardiovascular (López *et al.*, 1996; Carranza *et al.*, 1997; SIAP, 2005). Además, el aceite de aguacate es recomendado para el control de peso y retardar el envejecimiento (Sabaté *et al.*, 2012).

Los investigadores de este manuscrito no localizaron suficiente información sobre el efecto que tiene el año, la localidad de producción y el estado de madurez sobre el contenido de aceite y el perfil de ácidos grasos en aguacate sembrado en el país. Tampoco se sabe si el contenido de ácido oleico puede ser un marcador PDO. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto ambiental y estado de madurez del fruto sobre el contenido de aceite y el perfil de ácidos grasos del aguacate sembrado en las tres principales zonas productoras de aguacate 'Hass' y demostrar que existe la posibilidad de definir un marcador PDO.

Materiales y métodos

Material biológico

Se utilizó fruto de aguacate proveniente de Nayarit, Michoacán y Jalisco. El clima de Nayarit es cálido subhúmedo con una temperatura media de 22 °C, el de Michoacán es semi-cálido, subhúmedo del grupo C, con una temperatura media anual de 18 °C. El clima de Jalisco es templado y presenta una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C (Cuadro 1). El fruto fue cosechado en dos años consecutivos como se indica en el Cuadro 1 para cada uno de las localidades de producción.

En cada localidad de producción se cosecharon tres lotes de frutos en estado verde en madurez fisiológica con al menos 21.5% de materia seca y enviados al laboratorio de Alimentos Funcionales del Campo Experimental Bajío ubicado en Celaya, Guanajuato. En el laboratorio, los 16 frutos de cada uno de los tres lotes o repeticiones de cada localidad de

avocado, it will be possible to establish its own marker for certification purposes in the protection of designation of origin (PDO) (Pedreschi *et al.*, 2016).

On the other hand, it is known that the fatty acids present in avocado 'Hass' are 71% monounsaturated, 13% polyunsaturated and 16% saturated (Dreher and Davenport, 2013). It has been reported that the fatty acid composition of avocado oil has several beneficial biological properties; for example, increases the absorption of liposoluble vitamins and other compounds beneficial to humans and has beneficial effects on cardiovascular health (López *et al.*, 1996; Carranza *et al.*, 1997; SIAP, 2005). In addition, avocado oil is recommended for weight control and slow aging (Sabaté *et al.*, 2012).

The researchers of this manuscript did not find enough information on the effect of the year, the locality of production and the state of maturity on the oil content and the profile of fatty acids in avocado planted in the country. It is also not known whether the oleic acid content can be a PDO marker. The objective of this work was to determine the environmental effect and maturity of the fruit on the oil content and fatty acid profile of the avocado planted in the three main avocado 'Hass' producing areas and to demonstrate that it is possible to define a PDO marker.

Materials and methods

Biological material

Avocado fruit from Nayarit, Michoacán and Jalisco was used. The climate of Nayarit is subhumid warm with an average temperature of 22 °C, that of Michoacán is semi warm, sub-humid of group C, with an average annual temperature of 18 °C. The climate of Jalisco is temperate and presents an average annual temperature between 12 °C and 18 °C (Table 1). The fruit was harvested in two consecutive years as indicated in Table 1 for each of the production sites.

In each production site, three lots of fruits were harvested in a green state at physiological maturity with at least 21.5% of dry matter and sent to the Functional Food laboratory of the Bajío Experimental Field located in Celaya, Guanajuato. In the laboratory, the 16 fruits of each of the three batches or replicates of each production site were divided into two

producción se dividieron en dos grupos. El primer grupo fue congelado a -82°C , liofilizado y almacenado a -20°C hasta su análisis que será identificado como fruto “verde”. El segundo grupo, fruto “maduro” fue almacenado a temperatura ambiente 12 a 15 días hasta que la cáscara presentó el color negro característico de madurez para su consumo el cual será identificado de aquí en adelante como fruto “maduro.”

groups. The first group was frozen at -82°C , lyophilized and stored at -20°C until analysis which will be identified hereafter as “green” fruit. The second group of fruits, “mature” fruit was stored at room temperature 12 to 15 days until the peel presented the characteristic black color of maturity for consumption which will be identified hereafter as “mature fruit”.

Cuadro 1. Datos geográficos de las tres localidades de producción de aguacate ‘Hass’ y fechas de recolección de los dos años de cosecha.

Table 1. Geographic data of the three localities of avocado ‘Hass’ production and dates of harvesting of the two years of harvest.

Variables	Nayarit	Michoacán	Jalisco
	Cálido-húmedo	Semi-cálido sub-húmedo	Templado
Temperatura media ($^{\circ}\text{C}$)	18 - 22	16 - 28	12 - 18
Precipitación media (mm)	52	59	58
Índice P/T	>55.3	43.2 - 55	43.2 - 55
Tipo de suelo	Aw2	(A)C(w1)	C(w1)
Altitud (msnm)	1 140	1 600	2 161
Latitud N	21° 32' 24"	19° 21' 21"	19°48'02"
Latitud O	104° 54' 51"	102° 05' 32"	103°25'52"
Cosecha 1	7 octubre 2015	4 noviembre 2015	2 febrero 2016
Cosecha 2	13 octubre 2016	11 octubre 2016	22 noviembre 2016

Índice P/T= índice de Lang que es un estimador de eficiencia de la precipitación en relación la temperatura.

Materia seca

La materia seca fue determinada mediante horno de microondas acorde a Lee y Coggins (1982). Se obtuvieron 10 g de pulpa cortando longitudinalmente el fruto con un pela papas, las rebanadas se colocaron en cajas Petri y secadas en horno de microondas por 6 a 10 min hasta obtener peso constante. El porcentaje de materia seca se calculó con la siguiente fórmula: $(\text{peso fresco}-\text{peso seco}/\text{peso fresco})\cdot 100$.

Contenido de aceite

El contenido de aceite en las muestras se determinó con el método 920.85 de la AOAC (2000). El contenido de aceite se reportó en base húmeda tomando en consideración el nivel de humedad presentado por el fruto antes de ser liofilizado.

Dry material

The dry matter was determined by microwave oven according to Lee and Coggins (1982). The 10 g of pulp were obtained by cutting the fruit lengthwise with a potato peel, the slices were placed in Petri dishes and dried in a microwave oven for 6 to 10 minutes until constant weight was obtained. The percentage of dry matter was calculated with the following formula: $(\text{fresh weight}-\text{dry weight}/\text{fresh weight})\cdot 100$.

Oil content

The oil content in the samples was determined using AOAC method 920.85 (2000). The oil content was reported on a wet basis taking into account the moisture level presented by the fruit before being lyophilized.

Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos fue obtenido con el método AOCS (2013) mediante un cromatógrafo de gases acoplado a masas (Agilent Technologies, Inc. Santa Clara CA, USA. Modelos 6890N y 5973). Se utilizó una columna HP-88 (100 m x 0.25 mm ID, 0.2 μm , 250 $^{\circ}\text{C}$, 1 μL volumen de inyección), con hidrógeno como gas acarreador A y helio como gas acarreador B; con flujo constante de 2 mL min^{-1} y condiciones del horno A: 120 $^{\circ}\text{C}$ por 1 min, 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ 175 $^{\circ}\text{C}$ por 10 min, 5 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ a 210 $^{\circ}\text{C}$ por 5 min, 5 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ a 230 $^{\circ}\text{C}$ por 5 min; y del horno B: 175 $^{\circ}\text{C}$ por 10 min, 3 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ a 220 $^{\circ}\text{C}$ por 5 min.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar siendo los factores de variación la madurez y el año de cosecha. Se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables evaluadas utilizando el paquete estadístico SAS para Windows V9.2 (SAS, 2008). La comparación de medias para determinar diferencias estadísticas entre todas los factores de variación y la materia seca, contenidos de aceite, relación materia seca-aceite y ácidos grasos se realizó con la prueba de Tukey, con un nivel de significancia $p=0.05$. También se realizaron prueba de rangos múltiples de Duncan con nivel de significancia $p=0.05$ para identificar significancia entre un ácido graso específico y los factores de variación. Igualmente se realizaron correlaciones entre el perfil de ácidos grasos y la materia seca con diferentes niveles de significancia.

Resultados y discusión

Materia seca

El contenido de materia seca del aguacate presentó diferencias estadísticas entre localidades, estado de madurez y año de cosecha (Cuadro 2). En la cosecha 1 (octubre 2015- febrero 2016), todas las muestras de fruto maduro presentan mayor contenido de materia seca; por otro lado, el fruto verde y maduro proveniente del estado de Jalisco contiene mayor proporción de materia seca en comparación con el fruto de Nayarit y Michoacán. El fruto de la cosecha 2 presentó el mismo comportamiento en lo que respecta al fruto maduro; sin embargo, entre localidades no se presentaron diferencias estadísticas en el contenido de materia seca si se comparan los niveles presentes en el fruto de las tres localidades.

Fatty acid profile

The fatty acid profile was obtained using the AOCS method (2013) using a mass-coupled gas chromatograph (Agilent Technologies, Inc. Santa Clara CA, USA, Models 6890N and 5973). An HP-88 column (100 m x 0.25 mm ID, 0.2 μm , 250 $^{\circ}\text{C}$, 1 μL injection volume) was used, with hydrogen as carrier gas A and helium as carrier gas B; with constant flow of 2 mL min^{-1} and oven conditions A: 120 $^{\circ}\text{C}$ for 1 min, 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ 175 $^{\circ}\text{C}$ for 10 min, 5 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ at 210 $^{\circ}\text{C}$ for 5 min, 5 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ at 230 $^{\circ}\text{C}$ for 5 min; and oven B: 175 $^{\circ}\text{C}$ for 10 min, 3 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ at 220 $^{\circ}\text{C}$ for 5 min.

Statistic analysis

A completely randomized experimental design was used, with the factors of variation being maturity and the year of harvest. A variance analysis was performed for each of the variables evaluated using the statistical package SAS for Windows V9.2 (SAS, 2008). The comparison of means to determine statistical differences between all factors of variation and dry matter, oil contents, dry matter-oil ratio and acid degrees was performed with the Tukey test, with a level of significance $p=0.05$. Duncan's multiple range test was also performed with significance level $p=0.05$ to identify significance between a specific fatty acid and the variation factors. Correlations were also made between the fatty acid profile and dry matter with different levels of significance.

Results and discussion

Dry material

The dry matter content of avocado presented statistical differences between localities, maturity stage and year of harvest (Table 2). In harvest 1 (October 2015 - February 2016), all samples of mature fruit have a higher content of dry matter; on the other hand, the green and ripe fruit from the state of Jalisco contains a greater proportion of dry matter compared to the fruit of Nayarit and Michoacán. The fruit of the crop 2 presented the same behavior with respect to the mature fruit; however, there were no statistical differences in the dry matter content between localities when the levels present in the fruit of the three localities were compared.

El rango en el contenido de materia seca (22.7-35%) aquí reportado para fruto maduro en las tres localidades de producción fue ligeramente mayor en los límites superior e inferior del rango reportado (19-30.7%) para aguacate maduro ‘Hass’ (Pedro y Velásquez, 2015).

Contenido de aceite

El contenido de aceite del fruto maduro proveniente de Nayarit, Michoacán y Jalisco fue mayor comparado con el fruto verde, en los años de cosecha (Cuadro 2). El contenido de aceite del fruto maduro recolectado en la cosecha 1 fue de 3% en Nayarit y 13% en Jalisco; mientras que en la cosecha 2 fue de 4% y 7% en Nayarit y Jalisco, respectivamente. Por otro lado, el contenido de aceite fue hasta 29% mayor en el fruto maduro proveniente del estado de Jalisco recolectado en ambas fechas si se compara con el contenido de aceite en el fruto del resto de las localidades (Cuadro 2), este resultado sugiere que las condiciones ambientales de Jalisco promueven una mayor acumulación de aceite en el fruto.

The range of dry matter content (22.7-35%) reported here for mature fruit at the three production sites was slightly higher at the upper and lower limits of the reported range (19-30.7%) for ‘Hass’ mature avocado (Pedro and Velásquez, 2015).

Oil content

The oil content of the mature fruit from Nayarit, Michoacán and Jalisco was higher compared to the green fruit, in the harvest years (Table 2). The oil content of the mature fruit harvested in harvest 1 was 3% in Nayarit and 13% in Jalisco; while in harvest 2 it was 4% and 7% in Nayarit and Jalisco, respectively. On the other hand, the oil content was up to 29% higher in the mature fruit from the state of Jalisco collected in both dates when compared to the oil content in the fruit of the rest of the localities (Table 2), this result suggests that the environmental conditions of Jalisco promote a greater accumulation of oil in the fruit.

Cuadro 2. Propiedades físicas y contenido de aceite de aguacate “Hass” cosechado en tres localidades.

Table 2. Physical properties and oil content of “Hass” avocado harvested in three locations.

Localidad	Estado de madurez	Materia seca (%)		Contenido de aceite (%) ^x	
		Cosecha 1 [*]	Cosecha 2 ^{**}	Cosecha 1 [*]	Cosecha 2 ^{**}
Nayarit	Verde	22.71 ±1.7 d ^y	24.66 ±0.76 c	12.32 ±0.2 d	14.41 ±0.58 e
	Maduro	29.23 ±2.1 c	31.02 ±1.1 a	12.71 ±0.4 d	15. ±0.95 d
Michoacán	Verde	29.06 ±0.91 c	27.83 ±1.5 b	15.55 ±0.1 c	15.16 ±0.15 d
	Maduro	33.01 ±1.1 ab	31.04 ±0.89 a	17.39 ±0.2 b	15.91 ±0.21 b
Jalisco	Verde	31.43 ±2. bc	26.59 ±0.85 b	15.54 ±0.5 c	15.22 ±0.25 c
	Maduro	35.08 ±0.99 a	31.02 ±1.21 a	17.81 ±0.3 a	16.43 ± 0.4 a

^{*}= cosecha de octubre 2015-febrero 2016; ^{**}= cosecha de octubre-noviembre 2016; ^x= porcentaje expresados en base húmeda; ^y= medias con la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey, a una $p \leq 0.05$.

Se ha reportado que conforme el fruto del aguacate madura, el contenido de aceite y la aceptación sensorial se incrementan, pero disminuye el contenido de humedad (Osuna *et al.*, 2010). El contenido de aceite así como el efecto de la localidad sobre el contenido de aceite en el fruto fueron similares a lo reportado por Pedro y Velásquez (2015). Estos autores indican que el aguacate ‘Hass’ cosechado en Colombia presenta de 12.9 a 17.6% de aceite en fruto en estado maduro. Igualmente, reportan diferencias significativas en el contenido de aceite en frutos cosechados en cinco diferentes localidades.

It has been reported that as the mature avocado fruit, the oil content and the sensorial acceptance increase, but the moisture content decreases (Osuna *et al.*, 2010). The oil content as well as the effect of the locality on the oil content in the fruit were similar to that reported by Pedro and Velásquez (2015). These authors indicate that the avocado ‘Hass’ harvested in Colombia presents from 12.9 to 17.6% of oil in mature fruit. Likewise, they report significant differences in oil content in fruits harvested in five different locations.

Relación materia seca/aceite

Se ha reportado que el contenido de materia seca es directamente proporcional al contenido de aceite, por lo que el contenido de materia seca puede utilizarse como un índice de madurez (Lee *et al.*, 1983). En este sentido, el coeficiente de correlación calculado entre el contenido materia seca y el contenido de aceite para los frutos de la cosecha 1 y 2 fueron de 0.87 y 0.71, respectivamente. Este resultado concuerda con lo reportado por Cerdas *et al.* (2014) para aguacate 'Hass', quienes señalan que a niveles de 9% de materia seca el contenido de aceite es de apenas 4%, cuando la materia seca aumenta 20%, el contenido de aceite se eleva hasta 16%.

Ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos de la cosecha 1 y de la cosecha 2 se muestran en los Cuadros 3 y 4. Donde el ácido oleico fue mayor en todas las localidades de producción y estados de madurez con un contenido de 45.1% (fruto verde del Estado de Nayarit) a 59.7% (fruto maduro de Jalisco) en la cosecha 1 y en la cosecha 2 de 43.4% (fruto verde del Estado de Nayarit) a 56.7% (fruto maduro del Estado de Michoacán). Se ha reportado que el contenido de ácido oleico para aguacate 'Hass' proveniente de Chile va de 57 a 61%, de España de 54 a 60% y del Perú de 40 a 47% (Donetti y Terry, 2014).

Estos autores establecieron la hipótesis que el ácido oleico puede ser un marcador de origen; en vista que el contenido de ácido oleico para los frutos reportados en este trabajo va de 43.1 a 59.7%, entonces, el aguacate mexicano analizado en este trabajo, se puede colocarse en medio del fruto de Perú y el de España, pudiera servir como un marcador de origen, al menos para las tres localidades de producción considerados en este trabajo.

Por otro lado, el ácido palmítico se redujo en promedio 29% al pasar de verde al estado maduro en los frutos de las localidades de producción en el aguacate recolectados en la cosecha 1 (Cuadro 3). El mismo comportamiento se observó con el ácido palmitoleico de la misma cosecha, el cual se redujo 8% en los frutos proveniente del Estado de Michoacán y 2% en los del Estado de Jalisco. En frutos provenientes del Estado de Nayarit se incrementó 2% al pasar de verde a maduro en la cosecha 1 como se puede ver en el Cuadro 3.

Dry matter/oil ratio

It has been reported that the dry matter content is directly proportional to the oil content, so the dry matter content can be used as an index of maturity (Lee *et al.*, 1983). In this sense, the correlation coefficient calculated between the dry matter content and the oil content for fruits of crop 1 and 2 were 0.87 and 0.71, respectively. This result agrees with that reported by Cerdas *et al.* (2014) for 'Hass' avocado, who point out that at 9% dry matter levels the oil content is only 4%, when the dry matter increases 20%, the oil content rises to 16%.

Fatty acids

The fatty acid profile of crop 1 and crop 2 are shown in Table 3 and 4. Where oleic acid was highest in all production sites and maturity stages with a content of 45.1% (Nayarit green fruit) to 59.7% (ripe fruit of Jalisco) at harvest 1 and at harvest 2 from 43.4% (Nayarit green fruit) to 56.7% (mature fruit from Michoacán). It has been reported that the content of oleic acid for avocado 'Hass' from Chile ranges from 57 to 61%, from Spain from 54 to 60% and from Peru from 40 to 47% (Donetti and Terry, 2014).

These authors hypothesized that oleic acid may be a marker of origin; in view of the fact that the content of oleic acid for the fruits reported in this study ranges from 43.1 to 59.7%, then the Mexican avocado analyzed in this study can be placed in the middle of the fruit of Peru and that of Spain could serve as a marker of origin, at least for the three localities of production considered in this work.

On the other hand, palmitic acid was reduced by an average of 29% when it passed from green to mature in the fruits of the production sites in the avocado harvested in harvest 1 (Table 3). The same behavior was observed with palmitoleic acid from the same crop, which was reduced by 8% in fruits from Michoacán and 2% in Jalisco. In fruits from Nayarit increased 2% from green to mature in crop 1 (Table 3).

The same behavior was observed during harvest 2 (Table 4); however, in Nayarit the reduction of palmitic acid from green to mature was slightly higher (30%) compared to crop 1; while palmitoleic acid was reduced in the fruit of Michoacán and Jalisco 13%, being higher when compared to the fruit of the same locality of the crop 1. The reduction of the saturated fatty acids is highly desirable since both saturated fatty acids contribute to raising blood cholesterol in humans.

Cuadro 3. Perfil y contenido de ácidos grasos (g 100 g⁻¹ aceite) en aguacate ‘Hass’ proveniente de tres localidades obtenidos de la Cosecha 1 (octubre 2015-enero 2016).**Table 3. Fatty acid content and content (g 100 g⁻¹ oil) in avocado ‘Hass’ from three localities obtained from Harvest 1 (October 2015-January 2016).**

Localidad	Estado de madurez	Palmítico	Palmitoleico	Oleico	Linoleico	O/L ^x
Nayarit	Verde	25.61 ± 0.18 b ^y	12.82 ± 0.03 d	45.11 ± 0.47 d	16.56 ± 0.69 a	2.7
	Maduro	18.34 ± 0.13 e	13.18 ± 0.06 b	55.26 ± 0.43 b	13.41 ± 0.21 b	4.1
Michoacán	Verde	28.42 ± 0.21 a	13.31 ± 0.1 b	47.13 ± 0.31 c	11.22 ± 0.34 c	4.2
	Maduro	20.21 ± 0.17 d	12.22 ± 0.13 e	58.56 ± 0.25 a	9.91 ± 0.23 e	5.9
Jalisco	Verde	22.47 ± 0.11 c	14.12 ± 0.08 a	47 ± 0.41 c	16.55 ± 0.28 a	2.85
	Maduro	16.28 ± 0.09 f	13.81 ± 0.12 a	59.74 ± 0.58 a	10.36 ± 0.19 d	5.7

^x= (Oleico/linoleico); ^y= medias ± desviación estándar con la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey, a una $p \leq 0.05$.

Cuadro 4. Perfil y contenido de ácidos grasos (g 100 g⁻¹ aceite) en aguacate ‘Hass’ proveniente de tres localidades obtenidos de la Cosecha 2 (octubre - noviembre 2016).**Table 4. Fatty acid content and content (g 100 g⁻¹ oil) in avocado ‘Hass’ from three localities obtained from Harvest 2 (October - November 2016).**

Localidad	Estado de madurez	Palmítico	Palmitoleico	Oleico	Linoleico	O/L
Nayarit	Verde	23.24 ± 1.08 b	11.87 ± 0.4 d	43.44 ± 0.52 d	21.94 ± 1.98 a	1.9
	Maduro	16.32 ± 0.04 e	13.21 ± 0.35 bc	53.91 ± 0.95 b	16.69 ± 0.56 b	3.2
Michoacán	Verde	27.21 ± 0.19 a	14.29 ± 0.44 a	44.81 ± 0.39 d	13.75 ± 1.02 c	3.3
	Maduro	19.47 ± 0.57 d	12.41 ± 0.34 cd	56.77 ± 0.15 a	11.52 ± 1.06 c	4.9
Jalisco	Verde	20.86 ± 0.1 c	13.71 ± 0.13 ab	46.13 ± 0.88 c	19.52 ± 0.84 a	2.36
	Maduro	15.88 ± 1 e	11.91 ± 0.16 d	56.42 ± 0.45 a	15.91 ± 0.4 b	3.6

Promedios con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p = 0.05$).

El mismo comportamiento se observó durante la cosecha 2 (Cuadro 4); sin embargo, en Nayarit la reducción del ácido palmítico al pasar de verde a maduro fue ligeramente mayor (30%) en comparación con la cosecha 1; mientras que el ácido palmitoleico se redujo en el fruto de Michoacán y Jalisco 13%, siendo mayor si se compara con el fruto de la misma localidad de la cosecha 1. La reducción de los ácidos grasos saturados es altamente deseable dado que ambos ácidos grasos saturados contribuyen a elevar el colesterol en la sangre en humanos.

Con respecto al ácido graso insaturado oleico, se puede ver en los Cuadros 3 y 4 que en todos los casos se incrementó significativamente cuando el fruto pasó del estado verde al maduro. En la cosecha 1 se alcanzó un nivel de 21% (fruto de Jalisco), mientras que en la cosecha 2, hasta 21% en fruto proveniente de Michoacán. El ácido linoleico se redujo por efecto de la madurez en todas las muestras analizadas de todas las localidades y cosecha. Por otro lado, el contenido de ácido palmítico y palmitoleico fue menor a una altitud mayor como

With respect to the oleic unsaturated fatty acid, it can be seen in Tables 3 and 4 that in all cases it increased significantly when the fruit went from the green to the mature state. In harvest 1 a level of 21% (fruit of Jalisco) was reached, while in crop 2, up to 21% in fruit from Michoacán. Linoleic acid was reduced by maturity in all analyzed samples from all localities and harvest. On the other hand, the content of palmitic and palmitoleic acid was lower at a higher altitude as can be seen in Tables 1, 3 and 4 except for the palmitoleic acid content of the green and ripe fruit from Jalisco at harvest 1. While that the content of oleic acid was higher under the agroclimatic conditions of Michoacán (semi-warm, sub-humid) and Jalisco (temperate). With regard to linoleic acid, the content of this acid was reduced 38% in crop 1 and 12% in crop 2 when passing the fruit from green to mature from Jalisco (Tables 3 and 4). Changes in the composition of fatty acids due to maturity may be related to metabolism during fruit respiration in the tree (Meigh and Hulme, 1965).

se puede ver en los Cuadros 1, 3 y 4 con excepción del contenido de ácido palmitoleico del fruto verde y maduro proveniente de Jalisco en la cosecha 1. Mientras que el contenido de ácido oleico fue mayor bajo las condiciones agroclimáticas de Michoacán (semi-cálido, subhúmedo) y Jalisco (templado). Con respecto al ácido linoleico, el contenido de este ácido se redujo 38% en la cosecha 1 y 12% en la cosecha 2 al pasar el fruto verde a maduro de Jalisco (Cuadros 3 y 4). Los cambios en la composición de los ácidos grasos debido a la madurez están relacionados con el metabolismo durante la respiración del fruto en el árbol (Meigh y Hulme, 196).

La Figura 1 muestra el efecto de la cosecha, localidad de siembra y estado de madurez sobre el nivel de ácidos grasos y el contenido de materia seca. Como se puede observar, los ácidos palmítico, oleico y la materia seca no fueron afectados por la cosecha; es decir los frutos cosechados a fines de 2015 y principios de 2016 presentaron el mismo contenido de estos ácidos grasos que los cosechados a fines de 2016. Por otro lado, el ambiente tiene un efecto significativo en el contenido de ácido oleico; el fruto cosechado en Jalisco presenta hasta entre 10 y 14% más que el fruto proveniente de Nayarit y Michoacán (Figura 1). Un comportamiento similar en el contenido de ácido oleico se presenta en el estado de madurez; cuando el fruto está maduro listo para su consumo, el aguacate contiene 14% más ácido oleico que el fruto verde.

El grado de insaturación de un aceite lo determina la cantidad de ácido oleico que contiene, que es importante desde el punto de vista de la salud (Pedro y Velásquez, 2015). Puede verse en todas las muestras analizadas, el ácido oleico es el ácido monoinsaturado mayoritario en el aguacate. Se ha reportado que el ácido oleico es el ácido graso predominante en aguacate 'Hass' cultivado en Australia, Malasia (Yanty *et al.*, 2011) y Colombia (Pedro y Velásquez, 2015). Sin embargo, la presencia de ácido oleico en forma mayoritaria no es el único factor deseable desde el punto de vista de la salud. Se ha demostrado que entre mayor sea la relación oleico/linoleico (O/L) en el aceite de aguacate, es mejor para la salud, en particular a problemas cardiovasculares (Hwang *et al.*, 1997).

El ácido linoleico reduce el crecimiento de células tumorales humanas (Maggiara *et al.*, 2004). Por lo que la presencia de estos ácidos grasos insaturados en el aguacate "Hass" tiene un significado muy importante sobre la nutrición y la salud del público en general. En este sentido, todas las muestras maduras de aguacate analizadas

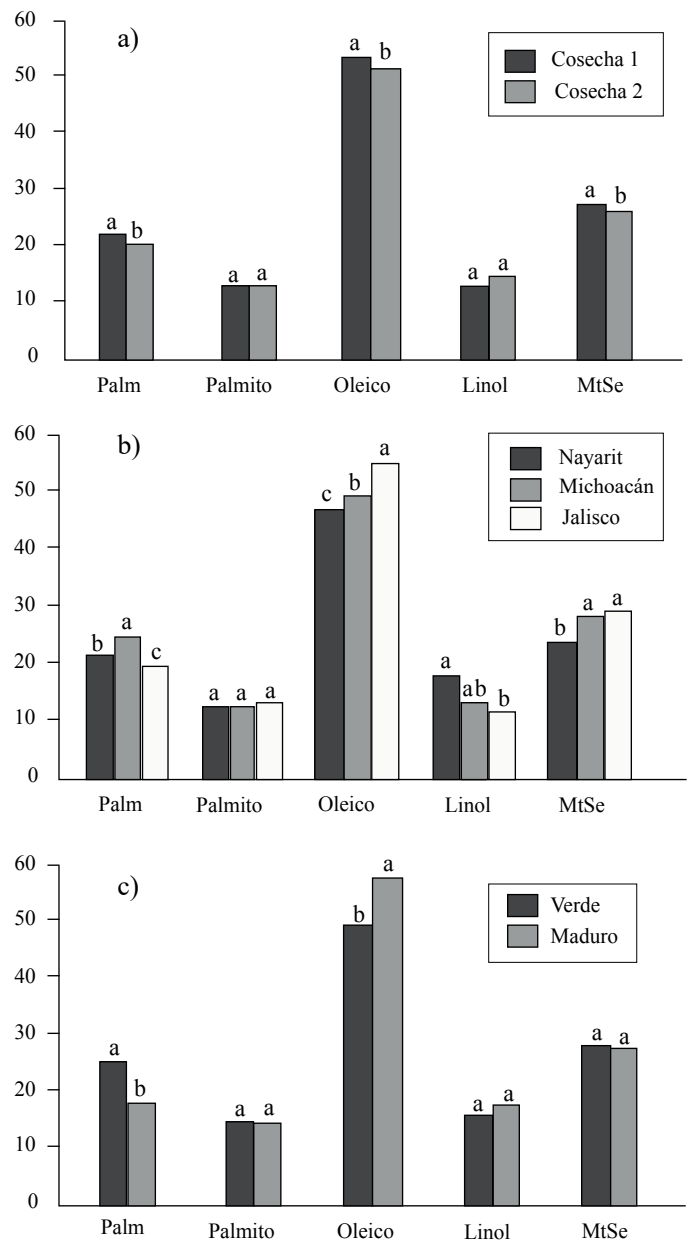


Figura 1. Pruebas de rango múltiple para el contenido de ácidos grasos ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ aceite) y materia seca (%); a) cosecha ($n = 18$), b) localidad ($n = 12$) y c) estado de madurez ($n = 18$). Palm=palmítico; Palmito=palmitoleico; Linol=linoleico; MtSe= materia seca. Promedios con letras iguales en cada ácido graso o contenido de materia seca, no son estadísticamente similares (Duncan, 0.05).

Figure 1. Multi-range tests for the content of fatty acids ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ oil) and dry matter (%); a) harvest ($n = 18$), b) locality ($n = 12$) and c) ($n = 18$). Palm= palmitic; Palmito= palmitoleic; Linol= linoleic; MtSe= dry matter. Averages with equal letters in each fatty acid or dry matter content are not statistically similar (Duncan, 0.05).

presentaron una relación O/L mayor a 1, el fruto maduro cosechado en Michoacán y Jalisco en la cosecha 1 presentan una relación O/L de 5.9 y 5.7, respectivamente, mientras que el fruto maduro de aguacate en las mismas localidades colectado en la cosecha 2, presenta una relación O/L de 4.9 y 3.6, respectivamente (Cuadros 3 y 4). Los niveles en la relación O/L reportada en este trabajo son mayores a los reportados por Donetty y Terry (2012) (2 - 3) para aguacate “Hass” de África del Sur y Perú y mayores a los reportados por Pedro y Velásquez (2015) para aguacates cultivados en Colombia (2.78-5.1).

La relación entre la madurez del fruto y el contenido de ácidos grasos en el aguacate ‘Hass’ es un factor importante a considerar al momento de la cosecha, en particular cuando se desea relacionar con la mejora en la salud (Pedro y Velásquez, 2015). Dado que el aguacate no requiere ningún procesamiento poscosecha, cualquier intento que se realice para que el fruto presente la mejor calidad en el perfil de ácidos grasos, es vital si se desea certificar por su contribución a la buena salud del público consumidor. El contenido de ácido oleico presentó una correlación negativa con el ácido palmítico ($p < 0.0001$), mientras que el nivel de materia seca presentó una correlación positiva con los ácidos palmitoleico ($p < 0.02$) y oleico ($p < 0.01$) y una correlación negativa con el ácido linoleico (0.011) (Cuadro 5).

Figure 1 shows the effect of the harvest, planting location and maturity stage on the level of fatty acids and dry matter content. As can be observed, the palmitic, oleic and dry matter acids were not affected by Harvest; i.e. fruits harvested at the end of 2015 and early 2016 had the same content of these fatty acids as those harvested at the end of 2016. On the other hand, the environment has a significant effect on oleic acid content; the fruit harvested in Jalisco presents up to 10 to 14% more than the fruit from Nayarit and Michoacán (Figure 1). A similar behavior in the content of oleic acid occurs in the state of maturity; when the fruit is ripe ready for consumption, the avocado contains 14% more oleic acid than the green fruit.

The degree of unsaturation of an oil is determined by the amount of oleic acid it contains, which is important from the point of view of health (Pedro and Velásquez, 2015). It can be seen that in all samples analyzed, oleic acid is the predominant monounsaturated acid in avocado. It has been reported that oleic acid is the predominant fatty acid in avocado ‘Hass’ grown in Australia, Malaysia (Yanty *et al.*, 2011) and Colombia (Pedro and Velásquez, 2015). However, the presence of oleic acid in the majority form is not the only factor desirable from the point of view of health. It has been shown that the greater the oleic/linoleic (O/L) ratio in avocado oil, the better the effect on health, particularly on cardiovascular problems (Hwang *et al.*, 1997).

Cuadro 5. Correlaciones entre ácidos grasos y materia seca de aguacate ‘Hass’.

Table 5. Correlations between fatty acids and dry matter of ‘Hass’ avocado.

	Palmítico	Palmitoleico	Oleico	Linoleico	Materia seca
Palmítico	-	0.248	-0.758 (0.0001)	-0.145	0.029
Palmitoleico	0.248	-	0.073	-0.212	0.386
Oleico	-0.758 (0.0001)	0.073	-	-0.239	0.424
Linoleico	-0.145	-0.212	-0.24	-	
Materia seca	0.029	0.386 (0.02)	0.424 (0.01)	-0.273 (0.011)	-

Valores entre paréntesis muestran el nivel de significancia donde se presentaron correlaciones.

Conclusiones

El ambiente de la localidad de siembra afecta en el nivel de aceite presente en el fruto. Existe una relación directa entre el contenido de materia seca y el contenido de aceite en los frutos analizado. Con relación a la posible designación de origen (PDO) en base al contenido de ácido oleico, el

Linoleic acid reduces the growth of human tumor cells (Maggiore *et al.*, 2004). So the presence of these unsaturated fatty acids in the “Hass” avocado has important significance on the nutrition and health of the general public. In this sense, all the mature samples analyzed showed an O/L ratio greater than 1, the mature fruit harvested in Michoacán and Jalisco in harvest 1 presented an O/L ratio of 5.9 and 5.7, respectively, whereas the mature fruit of the same localities collected in

aguacate Mexicano pudiera ubicarse antes del aguacate proveniente de Chile y España y después del de Perú. Mientras que el aguacate de Jalisco bien puede ser ubicado por debajo del de España. Los ácidos palmítico, oleico y la materia seca son afectados por la fecha de cosecha, mientras que la localidad de producción tiene un efecto muy importante en el contenido de ácido oleico.

Se identificó que cuando el fruto está maduro, listo para su consumo, el aguacate contiene 14% más ácido oleico que el fruto verde. Por otro lado, se observó una correlación positiva entre la materia seca los ácidos grasos palmitoleico (0.02) y oleico (0.01), y una correlación negativa entre la materia seca y el ácido linoleico (0.011). El contenido de ácido oleico disminuye significativamente a menores altitudes como fue el caso del fruto proveniente de Nayarit y Michoacán.

Agradecimientos

Al INIFAP por el apoyo económico dentro del marco de la convocatoria de proyectos fiscales 2015. Proyecto factores ambientales y fisiológicos asociados con el grado de rugosidad de la piel y calidad del fruto de aguacate 'Hass' (Número SIGI: 1161 3297 2).

Literatura citada

- AOAC. 2000. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International, 17th ed., Gaithersburg, USA: Hoerwitz W. Ed.
- AOCS. 2013. American Oil Chemists' Society. Official methods and recommended practices of the AOCS, 6th Ed. Urbana, IL. USA. 3 p. <http://www.aocs.org/Methods/index.cfm>.
- APEAM. 2017. Asociación de productores y exportadores de aguacate de México. Temporada de exportación de aguacate michoacano a Estados Unidos 2016-2017. El acontecer de la agricultura. www.elagricultor.mx.
- Carranza, M. J. J. E.; Herrera, A. M.; Alvizouri, M. M. R.; Alvarado, J. and Chávez, C. F. 1997. Effects of a vegetarian diet vs. a vegetarian diet enriched with avocado in hypercholesterolemic patients. Arch. Med. Res. 28(4):537-541.
- Cerdas, A. M. M. I.; Montero, C. M. y Somarribas, J. O. 2014. Verificación del contenido de materia seca como indicador de cosecha para aguacate (*Persea americana*) cultivar Hass en zona intermedia de producción de los santos, Costa Rica. Agron. Costarricense. 38(1):207-214.

crop 2, has an O/L ratio of 4.9 and 3.6, respectively (Tables 3 and 4). The levels in the O/L ratio reported in this paper are higher than those reported by Donetty and Terry (2012) (2 - 3) for Hass avocado from South Africa and Peru and higher than those reported by Pedro and Velásquez (2015) for avocados grown in Colombia (2.78-5.1).

The relationship between fruit maturity and fatty acid content in avocado 'Hass' is an important factor to consider at the time of harvest, particularly when it is desired to relate to improvement in health (Pedro and Velásquez, 2015). Since avocado does not require any postharvest processing, any attempt to make the fruit present the best quality in the fatty acid profile is vital if it is to be certified for its contribution to the good health of the consuming public. The content of oleic acid had a negative correlation with palmitic acid ($p < 0.0001$), while the dry matter level presented a positive correlation with palmitoleic ($p < 0.02$) and oleic ($p < 0.01$) acids and a negative correlation with linoleic acid (0.011) (Table 5).

Conclusions

The environment of the planting location affects the level of oil present in the fruit. There is a direct relationship between the dry matter content and the oil content in the analyzed fruits. Regarding the possible designation of origin (PDO) based on oleic acid content, Mexican avocado could be placed before avocado from Chile and Spain and later from Peru. While the Jalisco avocado may well be located below that of Spain. Palmitic, oleic and dry matter are affected by the date of harvest, while the locality of production has a very important effect on the content of oleic acid.

It was identified that when the fruit is ripe, ready for consumption, avocado contains 14% more oleic acid than the green fruit. On the other hand, a positive correlation was observed between dry matter, palmitoleic (0.02) and oleic (0.01) fatty acids, and a negative correlation between dry matter and linoleic acid (0.011). The content of oleic acid decreases significantly at lower altitudes as was the case of the fruit from Nayarit and Michoacán.

End of the English version



- Donetti, M. and Terry, L. 2012. Evaluation of factors affecting shelf/life and quality biomarkers of imported avocado fruit. *Acta Hort.* 934(1):677-682.
- Donetti, M. and Terry, L. 2014. Biochemical markers defining growing area and ripening stage of imported avocado fruit cv. Hass. *J. Food Comp. Anal.* 34:90-98. Dreher, M. L. and Davenport, A. J. 2013. Hass avocado composition and potential health effects. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 53(7):738-50.
- FAOSTAT. 2014. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Food and agricultural commodities production. <http://faostat.fao.org>.
- Ferreira, R.; Sellés, G.; Saavedra, J.; Ortiz, J.; Zúñiga, C.; Troncoso, C.; Rivera, S. A.; González, A. M. and Defilippi, G. G. 2016. Identification of pre-harvest factors that affect fatty acid profiles of avocado fruit (*Persea americana* Mill.) cv. Hass at harvest. *South Afr. J. Bot.* 104:15-20.
- Hwang, D. H.; Chanmugam, P. S.; Hyan, D. H.; Boudreau, M. D.; Windhauser, M. M.; Tulley, R. T.; Brooks, E. R. and Bray, G. A. 1997. Does vegetable oil attenuate the beneficial effects of fish oil reducing risk factors for cardiovascular disease? *Am. J. Clin. Nutr.* 66(1):89-96.
- Lee, S. K. and Coggins, C. W. 1982. Dry weight method for determination of avocado fruit maturity. *Calif Avocado Soc Yearbook* 66(1):67-70.
- Lee, S. K.; Young, R. E.; Shciffman, P. M. and Coggins, C. W. Jr. 1983. Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108(3):390-394.
- López, L. R.; Frati, M. A. C.; Hernández, D. B. C.; Cervantes, M. S.; Hernández, L. M. H.; Juárez, C. and Morán, L. S. 1996. Monounsaturated fatty acid (avocado) rich diet for mild hypercholesterolemia. *Arch. Med. Res.* 27(4):519-523.
- Maggiara, M.; Gologna, M.; Ceru, M. P.; Possati, L.; Angelucci, A.; Cimini, A.; Miglietta, A.; Bozzo, F.; Margiotta, C.; Muzio, G. and Canuto, R. A. 2004. An overview of the effect of linoleic and conjugated-linoleic acids on the growth of several human tumor cell lines. *Int. J. Cancer.* 112(6): 909-919.
- Meigh, D. F. and Hulme, A. C. 1965. Fatty acid metabolism in the apple fruit during the respiration climacteric. *Phytochem.* 4(4): 863-871.
- Osuna, G. J. A.; Doyon, G.; Salazar, G.; Goenaga, R. S. and González, D. I. J. L. 2010. Effect of harvest date and ripening degree on quality and shelf life of Hass avocado in Mexico. *Fruits.* 65(6): 367-375.
- Pedreschi, R.; Muñoz, P.; Robledo, P.; Becerra, C.; Defilippi, B. G.; van Eekelen, H. D. L. M.; Mumm, R.; Westra, E. H. and de Vos, R. C. H. 2014. Metabolomics analysis of postharvest ripening heterogeneity of Hass avocados. *Postharvest Biol. Technol.* 92:172-179.
- Pedreschi, R.; Hollak, S.; Harkema, H.; Otma, E.; Robledo, P.; Westra, E. and Defilippi, B. G. 2016. Impact of postharvest ripening strategies on "Hass" avocado fatty acid profiles. *South Afr. J. Bot.* 103: 32-35.
- Pedro, C. C. and Velásquez, M. A. 2015. Fatty acid content of avocados (*Persea Americana* Mill. Cv. Hass). *Agron. Colombiana* 33(2):220-227.
- Pieterse, Z.; Jerling, J. C. W.; Oosthuizen, H. S.; Kruger, S. M.; Hanekom, C. M. Smuts, and Schutte, A. E. 2005. Substitution of high monounsaturated fatty acid avocado for mixed dietary fats during an energy-restricted diet: effects on weight loss, serum lipids, fibrinogen, and vascular function. *Nutrition* 21(1): 67-75.
- Sabaté, J.; Wien, M. and Haddad, E. 2012. Effect of incorporating avocado in meals on self-reported subjective feelings related to satiety in healthy overweight adults. *FASEB J.* 26, 40.3
- SAS. 2008. SAS Institute Inc. SAS 9.1.3. Help and documentation. SAS/STAT® 9.2. Retrieved from https://www.sas.com/en_us/software/sas9.html.
- SIAP. 2015. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción anual por cultivo. Recuperado el 9 de marzo de 2017 de <http://www.siap.gob.mx/agriculturaproduccion-anual/>.
- Yanty, N. A. M.; Marikkar, J. M. N. and Long, K. 2011. Effect of varietal differences on composition and thermal characteristics of avocado oil. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 88(12):1997-2003.