

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**DETERMINACIÓN DE ACEITE Y ÁCIDOS GRASOS
EN PULPA DE 83 GENOTIPOS DE AGUACATE**

TESIS QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

JACQUELINE DEL CARMEN LUNA OLIVARES



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
ORICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, MEXICO, JUNIO 2015



Instituto de Horticultura

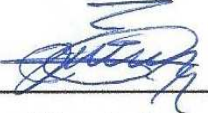
Tesis realizada por JACQUELINE DEL CARMEN LUNA OLIVARES bajo la
dirección del comité asesor, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Director:


Dr. Alejandro F. Barrientos Priego

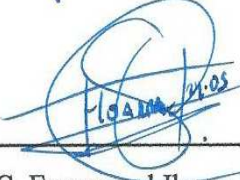
Asesor:


Dr. Eduardo Campos Rojas

Asesor:


Dr. Juan Ayala Arreola

Asesor:


M.C. Emmanuel Ibarra Estrada

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de JACQUELINE DEL CARMEN
LUNA OLIVARES, autora de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura
estuvo constituido por:

Director: 
Dr. Alejandro F. Barrientos Priego

Asesor: 
Dr. Eduardo Campos Rojas

Asesor: 
Dr. Juan Ayala Arreola

Asesor: 
M.C. Emmanuel Ibarra Estrada

DEDICATORIAS

A Dios, por darme la oportunidad de seguirme superando y encontrarme con personas que han enriquecido mi experiencia profesional, académica y humana.

A mis padres, Sr. Julián Luna López y Sra. Martha Patricia Olivares Méndez por brindarme su apoyo económico y moral cuando lo he necesitado, y sobre todo por su apoyo para continuar con mis estudios.

Mis hermanos Edna y Gonzalo por darme su apoyo y motivarme para continuar superándome.

A los pequeños de la familia, Jennifer y Julián de Jesús para quienes espero ser un buen ejemplo como persona y profesionista, que mi ejemplo los motive a seguir y superarse.

A la familia Sánchez Ortega, por acogerme y apoyarme durante estos últimos meses y motivarme a culminar mis estudios para seguir preparándome profesionalmente.

A Abraham Josue Ortega Ramírez, por ser una persona que me ha brindado apoyo y palabras de aliento cuando las necesito, por motivarme a seguir y por su ayuda durante la realización de este trabajo.

A mi colega y amiga, la Ing. Criseida Alhelí Sáenz Pérez por apoyarme aun estando lejos, por sus palabras y muestras de afecto.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT, por autorizarme una beca para continuar con mis estudios de maestría.

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, muy particularmente al INSTITUTO DE HORTICULTURA, por brindarme la oportunidad para realizar este posgrado.

Al Dr. Alejandro F. Barrientos Priego, por su amable disposición para dirigir este trabajo, por sus valiosas sugerencias y observaciones que han enriquecido este escrito y sobre todo por brindarme su apoyo profesional y humano durante este proceso, gracias por el empeño y el tiempo dedicado en mí para la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Eduardo Campos Rojas por su amable colaboración y sugerencias que hicieron posible este trabajo.

Al Dr. Juan Ayala Arreola por la cordialidad y accesibilidad que siempre ha tenido para revisar y aclarar mis dudas, además de la paciencia para atenderme a cualquier hora.

Al M.C. Emmanuel Ibarra Estrada por sus sugerencias, correcciones y palabras de apoyo para la culminación de este trabajo, así como su experiencia profesional que sin duda enriquecieron este trabajo y mi experiencia propia.

Al Coordinador de Posgrado del Instituto de Horticultura, Dr. Juan Martínez Solís, por su empeño y tiempo tomado para revisar y gestionar la culminación de cada uno de los trabajos de los estudiantes del posgrado.

DATOS BIOGRÁFICOS

DATOS PERSONALES

Nombre: Jacqueline del Carmen Luna Olivares

Fecha de Nacimiento: 7 de julio de 1987

Lugar de Nacimiento: Martínez de la Torre, Veracruz

FORMACIÓN ACADÉMICA

2005 – 2011: Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo

2013 – 2014: Maestría en Horticultura, Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo

DETERMINACIÓN DE ACEITE Y ÁCIDOS GRASOS EN PULPA DE 83 GENOTIPOS DE AGUACATE

DETERMINATION OF OIL AND FATTY ACIDS FROM PULP OF 83 AVOCADO GENOTYPES

RESUMEN

Se estudiaron 82 genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill) (21 de raza antillana, 3 de la raza guatemalteca, 9 de la raza mexicana y 49 cruzas o híbridos) y 1 especie afín (*Persea nubigena* Wms.) respecto a su contenido de aceite y ácidos grasos. La extracción de aceite se realizó con hexano para hacer la cuantificación de ácidos grasos en un cromatógrafo de gases acoplado a un detector de masas (GC-MS). Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), donde se obtuvo que el contenido de ácido oleico, palmitoleico, palmítico y linoleico agruparon la mayor variabilidad. Con los mismos datos se realizó un análisis discriminante en el cual se separaron cinco grupos: 1) raza mexicana, la cual se caracteriza por su contenido de ácido oleico, trans-13-octadecenoico y metil-Z-5-11,14,17-eicosatetraenoico; 2) raza antillana, que se caracteriza por la presencia de ácido palmítico, palmitoleico y linoleico. 3) raza guatemalteca que se distingue por la concentración de metil-8,11,14,17-eicosatetraenoico, 4) Las cruzas e híbridos, que se separaron por la presencia de metil-8,11,14,17-eicosatetraenoico, contenido de aceite y ácido oleico, mientras que el grupo 5) *Persea nubigena* Wms., que se caracterizó por el contenido de ácido palmitoleico, esteárico y trans-13-octadecenoico.

Palabras clave: *Persea americana* Miller, ácido oleico, ácido palmítico, ácido linoleico

ABSTRACT

Eighty two genotypes of avocado (*Persea americana* Mill) (21 of the West Indian race, 3 of the Guatemalan race, 9 of the Mexican race and 49 crosses or hybrids) and 1 related specie (*Persea nubigena* Wms.) were studied for oil and fatty acids content. The oil extraction was performed with hexane for the quantification of fatty acids on a gas chromatograph coupled to a mass detector (GC-MS). A Principal Component Analysis (PCA) was performed, where it was found that the content of linoleic, oleic, palmitoleic and palmitic acid grouped the greatest variability. With the same data a discriminant analysis was carried out in which five groups were formed: 1) mexican race, which is characterized by its content of oleic, trans-13-octadecenoic and methyl-Z-5-11,14,17-eicosatetraenoic acid; 2) west indian race, characterized by the presence of palmitic, palmitoleic and linoleic acid; 3) guatemalan race that is distinguished by the concentration of methyl-8,11,14,17-eicosatetraenoic acid, 4) crosses and hybrids, which were separated by the presence of methyl-8,11,14,17-eicosatetraenoic acid, oil content and oleic acid, while group 5) *Persea nubigena* Wms., is characterized by the content of palmitoleic, stearic and trans-13-octadecenoic acid.

Keywords: *Persea americana* Miller, oleic acid, palmitic acid, linoleic acid

ÍNDICE

DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DATOS BIOGRÁFICOS	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE	vii
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Producción e Importancia del Aguacate en México.....	3
Origen.....	3
Raza Antillana (<i>Persea americana</i> var. <i>americana</i> Mill.).....	4
Raza Guatemalteca (<i>Persea americana</i> var. <i>guatemalensis</i>) (L.O. Williams) Scora, comb. nov.	5
Raza Mexicana (<i>Persea americana</i> var. <i>drymifolia</i> (Schelechtendahl + Chamisso) (Blake, 1920)).	6
Raza Costaricensis (<i>Persea americana</i> var. <i>costaricensis</i>) (.....	6
Propiedades Nutricionales	7
Los ácidos grasos en el fruto de aguacate.....	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS	12
Material Genético.....	12
Determinación de ácidos grasos.....	16
Análisis Estadístico	17
IV. RESULTADOS.....	19
Contenido de Aceite	19

Análisis de Componentes Principales	29
Análisis Discriminante	32
Análisis de Correlación	34
V. DISCUSIÓN	36
VI. CONCLUSIONES.....	41
VII. LITERATURA CITADA	42

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. Genotipos de <i>Persea</i> utilizados en la presente investigación.....	12
CUADRO 2. Matriz de correlación de variables de contenido de ácidos grasos y de aceite de 83 genotipos de aguacate.	35

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Contenido de aceite total (%) en 83 genotipos de aguacate.....	20
FIGURA 2. Contenido de ácido palmitoleico (%) en pulpa de 83 genotipos de aguacate.	21
FIGURA 3. Contenido de ácido palmítico (%) en pulpa de 83 genotipos de aguacate...	22
FIGURA 4. Contenido de ácido linoleico (%) en pulpa de 83 genotipos de aguacate	24
FIGURA 5. Contenido de ácido oleico (%) en pulpa de 83 genotipos de aguacate.	25
FIGURA 6. Contenido de ácido trans-13-octadecenoico (%) en pulpa de 40 genotipos de aguacate.....	26
FIGURA 7. Contenido de ácido esteárico (%) presente en pulpa de 71 genotipos de aguacate.....	28
FIGURA 8. Análisis de componentes principales de 83 genotipos de aguacate con respecto a su contenido de aceite y ácidos grasos.....	33
FIGURA 9. Variables de ácidos grasos (a) y genotipos de aguacate (b) en el espacio bidimensional. Ant: raza antillana; Crz: cruce o híbrido; Gua: raza Guatemalteca; Mx: raza Mexicana; Nub: <i>Persea nubigena</i> Wms.....	35
FIGURA 10. Separación de los grupos de genotipos de aguacate con respecto a las variables de contenido ácidos grasos y aceite.....	36
FIGURA 11. . Separación de los genotipos aguacate analizados con respecto a las variables de contenido de ácidos grasos y aceite.....	37

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 15 años se ha incrementado la producción de aguacate a nivel mundial siendo de 550,000 toneladas el incremento de una producción total mundial de 2,100 000 toneladas. México se ha mantenido como principal productor, exportador y consumidor de aguacate en el mundo. En cuanto a las exportaciones de aguacate, además del mercado estadounidense, México exporta a países de la Unión Europea, Centroamérica, Canadá, Japón, Corea y China, entre otros (SIAP, 2015).

El género *Persea* presenta variaciones locales que han dado lugar a diferentes variedades botánicas o subespecies (Campos *et al.*, 2008). Cuatro son las variedades botánicas ampliamente reconocidas por los horticultores: raza mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*), raza guatemalteca (*P. americana* var. *guatemalensis*), raza antillana (*P. americana* var. *americana*) (Berg y Ellstrand 1986, Berg, 1992, Lavi *et al.*, 2003) y la raza costaricensis (*P. americana* var. *costaricensis*) (Ben-Ya'acov *et al.*, 2003).

Dada la cercanía de los centros de domesticación, el aislamiento geográfico, el comportamiento reproductivo de la especie y la intervención humana, se cree que estos factores han sido importantes en el desarrollo de la variación del aguacate (Gama-Campillo *et al.*, 1992).

El aguacate, con el paso de los años, ha tomado relevancia en la alimentación de la población, sobre todo en países como México, Estados Unidos, Japón y algunos países europeos. Las propiedades nutricionales de las grasas presentes en la dieta es un punto que ha creado un gran interés en áreas como la medicina, el cuidado de la salud y en la industria de aceites vegetales. En este caso, las propiedades del aguacate se pueden aprovechar para tales fines, ya que es una especie de la cual se pueden obtener distintos compuestos químicos importantes como lo son los ácidos grasos y algunas vitaminas, principalmente. El fruto de aguacate se distingue de otros debido a su alto contenido lipídico y es consumido como alimento, además de que es un ingrediente en las formulaciones de productos farmacéuticos y cosméticos (Bora *et al.*, 2001).

Las relaciones entre los ácidos grasos monoinsaturados, oleico y palmitoleico, en pulpa de aguacate y saturados se comparan favorablemente con el aceite de oliva (Requejo *et al.*, 2003), por lo que este frutal tiene grandes perspectivas para su uso industrial, por lo que se busca nuevas tipos de aguacates para obtener un balance adecuado de ácidos grasos (Tango *et al.*, 2004). Dadas las propiedades nutraceuticas que provee el fruto de aguacate, y la amplia variabilidad existente del género *Persea* en México, el objetivo del presente estudio fue cuantificar y comparar el contenido de aceite y ácidos grasos presentes en la pulpa de 83 genotipos de aguacate.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Producción e Importancia del Aguacate en México

México es el principal productor, exportador y consumidor de aguacate a nivel mundial. Se estima que la producción nacional anual de aguacate ‘Hass’ en el 2013 fue de 1’423,005.93 toneladas, con un valor de la producción de 17’801,513.49 pesos; el aguacate ‘Fuerte’ tuvo una producción de 10,923.10 toneladas a nivel nacional con un valor de la producción de 42,442.53 pesos mientras que de aguacate criollo la producción fue de 32,900.62 toneladas con un valor de la producción total de 212,881.13 pesos. En el ámbito internacional, la explotación comercial de aguacate se ha intensificado en las últimas dos décadas, incrementando su producción a 550,000 toneladas durante los últimos 15 años.

México es uno de los países con amplia diversidad de tipos de aguacate, ya que existen en el país al menos 20 diferentes especies relacionadas con el aguacate (Barrientos *et al.*, 2000).

Origen

El aguacate pertenece a la Lauraceae, una de las familias botánicas más antiguas (Renner, 1999). Ésta es una familia muy variable, que agrupa aproximadamente 50 géneros y un número indeterminado de especies (2,500 a 3,000), distribuidas principalmente en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo (Rohwer, 1993).

La mayoría de los géneros pertenecientes a la familia Lauraceae son muy variables, y en el caso del aguacate existen variaciones locales que han dado lugar a diferentes variedades botánicas o subespecies (Campos *et al.*, 2008).

Cada una de estas razas se ha relacionado a diferentes centros de domesticación y dispersión (Heiser, 1965; Kopp, 1966; Williams, 1977 y Storey *et al.*, 1986).

Raza Antillana (*Persea americana* var. *americana* Mill.)

Existen dos subtipos de aguacates antillanos, los de Centroamérica y los de Sudamérica (Rhodes *et al.*, 1971), posiblemente descritos por primera vez por Popenoe (1935) y también reportados por Ben-Ya'acov *et al.* (1992). En torno a esta variedad botánica continua abierta la interrogante de su origen y su distribución. Esta raza presenta una gran variabilidad debido a su amplia distribución (Storey *et al.*, 1986). Se le encuentra a lo largo de las tierras bajas del litoral del Océano Pacífico entre los 82° y 92° longitud oeste a una altitud que va desde el nivel del mar hasta los 1,000 m. Los frutos se encuentran de uno a tres por racimo terminal y miden de 10 a 25 cm de longitud, de forma piriforme, exocarpio brillante, verde oscuro a café púrpura; semilla ovada, variable en tamaño y con superficie rugosa. El uso de esta variedad botánica en la agricultura es como portainjerto tolerante a salinidad, suelos pesados, suelos calcáreos y a la tristeza del aguacatero (Ben-Ya'acov y Barrientos, 2003). La raza antillana representa a los aguacates de clima tropical que se producen a nivel comercial en Australia, Brasil, Costa Rica, Cuba, Estados Unidos, México y República Dominicana,

entre otros. Su madera es apreciada en la elaboración de utensilios de casa (Campos *et al.*, 2008).

Raza Guatemalteca (*Persea americana* var. *guatemalensis*) (L.O. Williams) Scora, comb. nov.

Esta raza crece en áreas de clima cálido húmedo de los bosques lluviosos del trópico aunque también se le encuentra en el trópico seco a altitudes de 100 a 2,300 msnm, en suelos ácidos y de baja fertilidad. William (1976) considera que esta raza se originó de la variedad *nubigena*, aunque Schieber y Zentmyer (1978) sugieren que la var. *steyermarkii* fue quien dio origen a la raza guatemalteca. Schiber y Bergh (1987) denotan que *P. steyermarkii*, *P. nubigena*, *P. tolimanensis* y *P. zentmyerii* son los ancestros de los criollos guatemaltecos. Los frutos de esta raza se presentan de dos a cuatro por racimo terminal, de 10 a 18 cm de longitud, ovados a ligeramente piriformes, de 4 mm de grosor de su mesocarpio, de color verde a café o negro en la madurez; semilla esférica y pequeña. Su uso es básico en el mejoramiento genético de *P. americana* para la obtención de nuevos materiales. En Guatemala los árboles de esta raza crecen en los huertos de traspatio y también sirven de sombra para las plantaciones de café. En otras partes se emplea como especie maderable, material de construcción, materia prima para la elaboración de artesanías, carbón, y en menos grado como ornato (Campos *et al.*, 2008).

Raza Mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia* (Schelechtendahl + Chamisso) (Blake, 1920)).

En su hábitat natural se distribuye en las faldas de la región este de las tierras altas del centro de México y en el sur de la faja volcánica transversal, a altitudes mayores a 1,000 m, en climas húmedos cálidos a semiáridos. Presenta frutos de 3 a 6 por racimo terminal, de 4 a 12 cm de longitud, de forma ovoide o ligeramente piriformes, exocarpio delgado, de color verde oscuro, café, negro o púrpura, mesocarpio con esencia a anís; semilla larga, ovada, superficie lisa. Su principal uso es alimenticio y de la semilla se extrae aceite de alta calidad. Su madera es apreciada en la elaboración de guitarras y otras artesanías, sus hojas se usan en la medicina tradicional y como fuente de compuestos para condimentar diversos platillos tradicionales. Se emplea en la cosmetología como base de jabones, cremas y aceites. En la agricultura se emplea como portainjerto y en la obtención de nuevas variedades (Campos *et al.*, 2008)

Raza Costaricensis (*Persea americana* var. *costaricensis*) (Ben-Ya'acov *et al.*, 2003)

Se adapta a condiciones tropicales y subtropicales a altitudes de 1200 a 2000. El árbol es grande y la mayoría de sus características son típicas del aguacate (Bergh, 1992). Sus hojas son variadas entre las que presenta semejanza con las de la raza antillana y guatemalteca (tamaño, color y pubescencia). El fruto es redondo a piriforme y pequeño (4 cm de diámetro) de baja calidad para su consumo y sabor amargo, tiene facilidad para remover su epidermis, la cual es de color verde brillante; la semilla es redonda y rugosa

de color rosado a rojo, la cual es empleada para la obtención de portainjertos (Ben-Ya'acov *et al.*, 2003).

Propiedades Nutricionales

El fruto de aguacate se distingue de otros debido a su alto contenido lipídico además de que es un ingrediente en las formulaciones de productos farmacéuticos y cosméticos (Bora *et al.*, 2001). Es utilizado en la elaboración de estos productos, debido a su contenido de aceite que puede variar entre 15 y 30 % (en base a peso fresco), dependiendo del cultivar y estacionalidad (Lee *et al.*, 1983).

El contenido de agua presente en el fruto es inferior al encontrado en la mayoría de las frutas, además de que es rico en fibra, tanto de tipo soluble como insoluble, siendo más abundante esta última. También es rico en minerales como el magnesio y el potasio, y en cuanto a su composición de vitaminas, aporta cantidades destacables de vitamina E (que es un potente antioxidante), además su consumo contribuye a cubrir las necesidades de otras vitaminas como la vitamina C y en menor grado la vitamina B₆ (Bora *et al.*, 2001).

Los ácidos grasos en el fruto de aguacate

Los ácidos grasos son componentes de membranas celulares, esto lo hacen en la forma de lípidos anfipáticos, es decir, como glicerofosfolípidos, predominantemente. Además, los lípidos de la dieta proveen de ácidos grasos poliinsaturados que actúan como precursores de unos metabolitos poderosos que actúan localmente, los eicosanoides

(Rustan y Drevon, 2005; Ruiz *et al.*, 2010); tanto los ácidos grasos como los eicosanoides están relacionados con enfermedades crónicas tales como obesidad, diabetes, cáncer, artritis, asma, y enfermedades cardiovasculares (Ruiz *et al.*, 2010). También, los ácidos grasos se usan como elementos funcionales, además de nutricionales, ya que cierto tipo de estos compuestos benefician a la salud.

En los ácidos grasos de cadena larga se incluyen los poliinsaturados, los cuáles contienen dos o más dobles enlaces. Los principales grupos de ácidos grasos son el omega-3 y el -6. La nomenclatura más común de los ácidos grasos es con base en sus nombres triviales (por ejemplo, ácido linoleico) (Ruiz *et al.*, 2010). Siguiendo con el ejemplo del ácido linoleico, el cuál es un ácido graso de 18 carbonos con dos dobles enlaces, la estructura exacta está dada por el nombre sistemático: ácido cis-9, cis-12-octadecadienoico y por la abreviatura 18:2 cis, cis Δ 9, Δ 12 (Lobb y Chow, 2000).

El fruto de aguacate, es una importante fuente de calorías, y su característica más importante es su contenido de ácidos grasos monoinsaturados (Ozdemir y Topuz, 2004). Además contiene un alto contenido lipídico el cual varía de 3-30 % de su peso. En aguacates de raza mexicana y guatemalteca, el contenido de aceite varía de 10-13 % y de 15-25 %, respectivamente (Biale y Young, 1971), mientras que en los frutos antillanos se reporta bajo contenido (2.5-5 %) (Hatton *et al.*, 1964). El contenido mínimo de aceite necesario para la comercialización del aguacate es del 8 %. Después de la maduración, el valor puede incrementarse a más del 20 % (Ozdemir y Topuz, 2004). Estos valores se

presentan en el período comprendido entre la cosecha, cuando se alcanza la madurez comercial y la completa maduración, y es cuando el contenido de aceite se incrementa y ocurren cambios en la composición del aceite. Las concentraciones de ácidos grasos insaturados se incrementa y la de grasos saturados decrece (Martínez y Moreno, 1995). De acuerdo con Soares *et al.* (1992), la adulteración del aceite de oliva con aceite de aguacate en un nivel de 35 % es indetectable en cuanto al sabor ya que ambos presentan características similares. Esto último muestra que el aceite de aguacate puede competir directamente en cuanto a calidad de aceite, el cual es uno de los aceites más consumidos en el mundo. El aguacate es de gran importancia económica y nutricional para México (Villa *et al.*, 2011), y es considerado una de las fuentes naturales más importantes de origen de ácidos grasos monoinsaturados derivados de alimentos y ácidos grasos esenciales tales como el linoleico y linolénico (Jakab *et al.*, 2002). El aceite de aguacate es el componente más importante de la sustancia seca del mesocarpio y es responsable del sabor y de su textura. Existen diversas técnicas de extracción y tratamiento del aceite de aguacate, lo cual modifica la cantidad de aceite extraído y composición y cuantificación de los ácidos grasos presentes. A través de técnicas de extracción por presión en frío han hecho posible su consumo directo con los siguientes beneficios para la salud humana: reducción de enfermedades cardiovasculares, por su contenido de α -tocoferol (12-15 mg g⁻¹ de aceite), prevención de cáncer de colon, de mama y próstata por su contenido de β -sitosterol (4.5 mg g⁻¹ de aceite) el cual inhibe la absorción intestinal de colesterol disminuyendo los niveles de colesterol total y de lipoproteínas de

baja densidad (LDL); disminuye el riesgo de trastornos oculares y cataratas por su contenido de luteína (xantófila), la cual se encuentra junto con otros pigmentos liposolubles o carotenoides (carotenos, xantofilas y clorofila) (Téliz y Mora, 2007). Las relaciones entre los ácidos grasos monoinsaturados (oleico y palmitoleico) y saturados se comparan favorablemente con el aceite de oliva (Requejo *et al.*, 2003). El ácido linoleico es importante en la industria cosmética debido a sus propiedades benéficas a la piel, ya que actúa como antiinflamatorio, reductor de acné, y puede retener humedad (Letawe *et al.*, 1998), además de que ayuda a bajar activamente el colesterol sérico (Hesgter y Kritchevsky, 1997). Debido a la relación inversa entre el consumo de ácido linoleico y la concentración de colesterol en el plasma sanguíneo, y la relación entre este último y la incidencia de enfermedades coronarias, se recomienda incrementar el consumo de ácido linoleico a 4-10 % del consumo total de energía (Heyden, 1994).

El aceite se acumula durante el crecimiento y maduración en el árbol, con un gran incremento en la fracción de ácido oleico; una vez que el fruto es cosechado, el aceite no se acumula más, y se ha demostrado que hay poco cambio en el perfil de ácidos grasos durante la maduración postcosecha (Ozdemir y Topuz, 2004; Meyer y Terry, 2008).

El aceite de aguacate contiene una cantidad de ácidos grasos saturados comparable al del aceite de girasol, maíz, oliva, soya y cacahuate. Un ácido graso monoinsaturado está presente en todas las grasas y aceites, y en algunos aceites, como el de oliva, de canola y

de aguacate es el principal tipo de ácido graso. El ácido oleico llega a alcanzar hasta un 80 % del total de los ácidos grasos en el aceite de aguacate (Ratovohery *et al.*, 1988).

El aceite de aguacate está en una posición intermedia entre los aceites vegetales respecto al contenido de los ácidos grasos poliinsaturados (11-15 %). Contiene niveles más elevados de este tipo de ácidos que el aceite de oliva o de palma, pero más bajos que en maíz, algodón, soya y girasol. Los ácidos linoleico y araquidónico y el ácido α -linolénico son esenciales para el organismo y deben incluirse en la dieta. Sin embargo, el aceite de aguacate contiene una cantidad baja de ácido linolénico ($< 1\%$) y su balance ácido linoleico/ácido linolénico no es favorable (23:1) (Mataix y Gil, 2002). La porción comestible del fruto es rica en ácidos oleico, palmítico, linoleico y palmitoleico, mientras que el ácido esteárico se presenta solo en cantidades traza (Lu *et al.*, 2009; Yahia, 2010). El consumo de este tipo de compuestos en la dieta ha sido relacionado con su capacidad para actuar como antioxidantes (López *et al.*, 1996). Sin embargo, la capacidad antioxidante y algunas otras propiedades de frutas y vegetales puede ser afectada por diversos factores, tales como el tipo de cultivar, condiciones agronómicas, manipulación postcosecha y estado de madurez del fruto (Kevers *et al.*, 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Material Genético

Se utilizaron 82 genotipos de aguacate (21 de la raza antillana, tres de la raza guatemalteca, nueve de la raza mexicana, 49 cruza e híbridos) y una especie afín (*Persea nubigena*); las cuales fueron colectadas en distintos puntos de la República Mexicana (CUADRO 1)

CUADRO 1. Genotipos de *Persea* utilizados en la presente investigación

Núm.	Genotipo	Raza	Origen
1	‘C-10-13’	Antillana	Campeche
2	‘C-11-13’	Antillana	Campeche
3	‘C-1-13’	Antillana	Campeche
4	‘C-13-13’	Antillana	Campeche
5	‘C-3-13’	Antillana	Campeche
6	‘C-4-13’	Antillana	Campeche
7	‘C-5-13’	Antillana	Campeche
8	‘C-6-13’	Antillana	Campeche
9	‘QR-4-13’	Antillana	Quintana Roo
10	‘QR-28-13’	Antillana	Quintana Roo
11	‘Colecta 82Y’	Antillana	Yucatán
12	‘Y-33-13’	Antillana	Yucatán
13	‘Y-21-13’	Antillana	Yucatán
14	‘QR-3-13’	Antillana	Quintana Roo
15	‘QR-2-13’	Antillana	Quintana Roo
16	‘C-72-13’	Antillana	Campeche
17	‘C-16-13’	Antillana	Campeche
18	‘C-15-13’	Antillana	Campeche
19	‘Antillano 8’	Antillana	Othon P. Blanco, Quintana Roo

CUADRO 1. (Continuación)

20	‘Antillano 191’	Antillana	Calakmul, Campeche
21	‘Antillano 82’	Antillana	Othon P. Blanco, Quintana Roo
22	‘Colín V-33’ x ‘Hass’	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
23	‘Fundación II’ x ‘Colín V-33’	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
24	‘Fundación II’ x ‘Colín V-33’	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
25	‘Hass’ x ‘Fundación II’	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
26	‘Hass’ x ‘Hass’	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
27	‘Rincoatl’	Híbrido (mutante de ‘Rincon’)	California, Estados Unidos
28	‘Hass’ de Zacapala	Híbrido	Cultivado en Zacapala, Puebla
29	‘Hass’ x ‘Pionero’ 1	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
30	‘Hass’ x ‘Pionero’ 3	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
31	‘Hass’ x ‘Pionero’ 5	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
32	‘Hass’ x ‘Pionero’ 15	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
33	‘Hass’ x ‘Pionero’ 16	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
34	‘Hass’ x ‘Pionero’ 32	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
35	‘Hass’ x ‘Pionero’ 35	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
36	‘Hass’ x ‘Pionero’ 38	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
37	‘Hass’ x ‘Pionero’ 42	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México

CUADRO 1. (Continuación)

38	‘Hass’ x ‘Pionero’ 43	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
39	‘Hass’ x ‘Pionero’ 45	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
40	‘Hass’ x ‘Pionero’ 47	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
41	‘Hass’ x ‘Pionero’ 49	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
42	‘Hass’ x ‘Pionero’ 51	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
43	‘Hass’ x ‘Pionero’ 52	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
44	‘Hass’ x ‘Pionero’ 53	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
45	‘Hass’ x ‘Pionero’ 55	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
46	‘Hass’ x ‘Pionero’ 63	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
47	‘Hass’ x ‘Pionero’ 64	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
48	‘Hass’ x ‘Pionero’ 66	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
49	‘Hass’ x ‘Pionero’ 67	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
50	‘Hass’ x ‘Pionero’ 69	Cruza	Coatepec de Harinas, Edo. de México
51	‘Hass’	Híbrido	California, Estados Unidos
52	‘Fuerte’	Híbrido	Atlixco, Puebla
53	‘Aguilar’	Híbrido (descendiente de ‘Colín V-33’)	Coatepec de Harinas, Edo. de México
54	‘55 PV2’	Híbrido (descendiente de ‘Colín V-33’)	Coatepec de Harinas, Edo. de México

CUADRO 1. (Continuación)

55	‘Encinos’	Híbrido (descendiente de ‘Hass’)	Coatepec de Harinas, Edo. de México
56	‘Colín V-33’	Híbrido (descendiente de ‘Fuerte’)	Coatepec de Harinas, Edo. de México
57	‘Jiménez II’	Híbrido (Mutante de ‘Hass’)	Tacámbaro, Michoacán
58	‘148 PLS’	Híbrido (descendiente de ‘Colín V-33’)	Coatepec de Harinas, Edo. de México
59	‘Lamb Hass’	Híbrido (descendiente de Gwen)	California, Estados Unidos
60	‘Aries’	Híbrido (descendiente de ‘Colín V-33’)	Coatepec de Harinas, Edo. de México
61	‘Barri’	Híbrido (descendiente de ‘Colín V-33’)	Chapingo, Estado de México
62	‘Ariete’	Híbrido (descendiente de CV33)	Coatepec de Harinas, Edo. de México
63	‘Pionero’	Híbrido (descendiente de 120 PLS)	Coatepec de Harinas, Edo. de México
64	‘120 PLS’	Híbrido (descendiente de ‘Colín V-33’)	Coatepec de Harinas, Estado de México
65	‘Fundación III’	Híbrido (descendiente de ‘Hass’)	Coatepec de Harinas, Edo. de México
66	‘Duke 7’	Raza Mexicana (descendiente de ‘Duke’)	California, Estados Unidos
67	‘CH-CH-2-222’	Híbrido (‘Fuerte Negro’)	Quillota, Chile
68	‘Fundación II’	Híbrido (descendiente de ‘Hass’)	Coatepec de Harinas, Edo. de México
69	‘Pinkerton’	Híbrido (proveniente de ‘Rincon’ x ‘Hass’)	California, Estados Unidos
70	‘Filtro Negro’	Híbrido (‘Colín V-33’ x ‘Tolimán’)	Coatepec de Harinas, Edo. de México
71	‘San Marcos’	Raza Guatemalteca	San Marcos, Guatemala
72	‘Mike’	Raza Guatemalteca	Tzaneen, Sudáfrica
73	‘Reed’	Raza Guatemalteca (proveniente de ‘Anaheim’ x Nabal’)	California, Estados Unidos

CUADRO 1. (Continuación)

74	‘Carmelo’	Raza Mexicana	Zacapala, Puebla
75	‘Lechero’	Raza Mexicana	Zacapala, Puebla
76	‘Mancito’	Raza Mexicana	Zacapala, Puebla
77	‘Negrito’	Raza Mexicana	Zacapala, Puebla
78	‘Difunto’	Raza Mexicana	Zacapala, Puebla
79	‘Moisés’	Raza Mexicana	Zacapala, Puebla
80	‘Don Cris’	Raza Mexicana	Tequexquahuac, Edo. de México
81	‘Aceitoso de Villa Guerrero’	Raza Mexicana	Villa Guerrero, Edo. de México
82	‘Tepetl’	Raza Mexicana	Coatepec de Harinas, Edo. de México
83	<i>Persea nubigena</i>	<i>Persea nubigena</i> Wms.	Guatemala

Fueron seleccionados aleatoriamente tres frutos por genotipo, buscando que se encontraran en la parte media del árbol y en madurez fisiológica.

Determinación de ácidos grasos

La metodología utilizada para la determinación total de aceite fue la propuesta por Meyer y Terry (2008), se pesó 20 g de pulpa de cada genotipo y se maceró en un mortero para después colocar la pulpa macerada en un matraz Erlenmeyer con 60 ml de hexano; se colocó un tapón de goma al matraz y se agitó vigorosamente por 15 s.

Se colocó la pulpa en tubos de centrifuga para dejarlos en un sonicador por 25 minutos para luego agitar durante 30 s en un vórtex (Vortex Genie 2®) durante 30 s. Posteriormente se utilizó papel filtro para separar el solvente y la pulpa. El solvente se pasó a un matraz para extracción en el rotavapor a 70 rpm y se esperó a que el solvente

se evaporara para concentrar el aceite y colocarlo para almacenamiento en un frasco color ámbar.

Se tomaron 100 µl del aceite y se colocaron en un tubo para centrifuga.

Luego se agregaron 500 µl de trifluoruro de boro al 14 % en metanol, se agitó y se colocó en baño maría durante 20 minutos a 70 °C. Pasado ese tiempo se dejó reposar 5 minutos para agregar 1 ml de agua destilada y 1 ml de hexano, se tapó el tubo y se agitó durante 30 s en un vórtex (Vortex Genie 2®).

Se dejó reposar durante cinco minutos para la separación de fases y se pasó la fase orgánica hexánica a un vial para ser analizado en un cromatógrafo de gases 7890A acoplado a un detector de masas 5975C inert, con detector de triple eje, ambos de la marca Agilent Technologies. La columna utilizada fue una HP-5ms de 30 m de largo x 0.25 mm de diámetro x 0.25 micrómetros de capa, de 5 % difenil y 95 % dimetilpolisiloxano.

Análisis Estadístico

Se generó una base de datos con todas las variables obtenidas del análisis de las muestras, para ello se utilizó el programa Excel versión 2007. Se realizó el análisis de componentes principales con la finalidad de expresar la variación total del grupo de variables medidas, así como un análisis discriminante para determinar las diferencias de

los grupos. Por otra parte, se realizó un análisis de correlación múltiple; todos los análisis se elaboraron mediante el programa SIMCA 13.0.3 (UMETRICS AB).

IV. RESULTADOS

Contenido de Aceite

El genotipo que mostró el mayor porcentaje de aceite total en pulpa, fue el ‘CH-CH-2-222’, con 40.48 % , seguido por ‘Reed’ (39.93 %), ‘120 PLS’ (39.15 %), ‘Fundación III’ (38.29 %) y ‘Fundación II’ (38.08 %), mientras que en los que se encontró menor porcentaje de aceite fueron ‘Y-33-13’ (1.92 %), ‘QR-28-13’ (2.18 %) , ‘C-4-13’ (2.38 %), ‘Carmelo’ (2.38 %) y ‘C-1-13’ (2.58 %). (FIGURA 1).

En cuanto al contenido de ácido palmitoleico, los genotipos que tuvieron mayor porcentaje fueron ‘*Persea nubígena* Wms’ (24.2 %). ‘C-16-13’ (17.19 %), ‘QR-4-13’ (16.47 %), ‘Hass Zacapala’ (16.10 %) , ‘C-10-13’ (15.86 %) y ‘Hass’ x ‘Hass’ (15.67 %) y los de menor porcentaje fueron ‘Mike’ (0.10 %), ‘Colín V-33’ (0.28 %), ‘Aries’ (0.51 %), ‘Hass’ (0.51 %) y ‘Pionero’ (0.60 %). (FIGURA 2).

El ácido palmítico se presentó en mayor porcentaje en los genotipos ‘Antillano 82’ (57.05 %), ‘Antillano 191’ (50.85 %), ‘C-5-13’ (41.85 %), ‘C-16-13’ (40.10 %) y ‘CC-15-13’ (37.93 %) y en menor porcentaje en los genotipos ‘Encinos’ (8.32 %), ‘Hass’ (8.90 %), ‘55 PV2’ (9.46%), ‘Hass’ x ‘Pionero’ 63 (9.94 %) y ‘Colín V-33’ (10.25 %). (FIGURA 3)

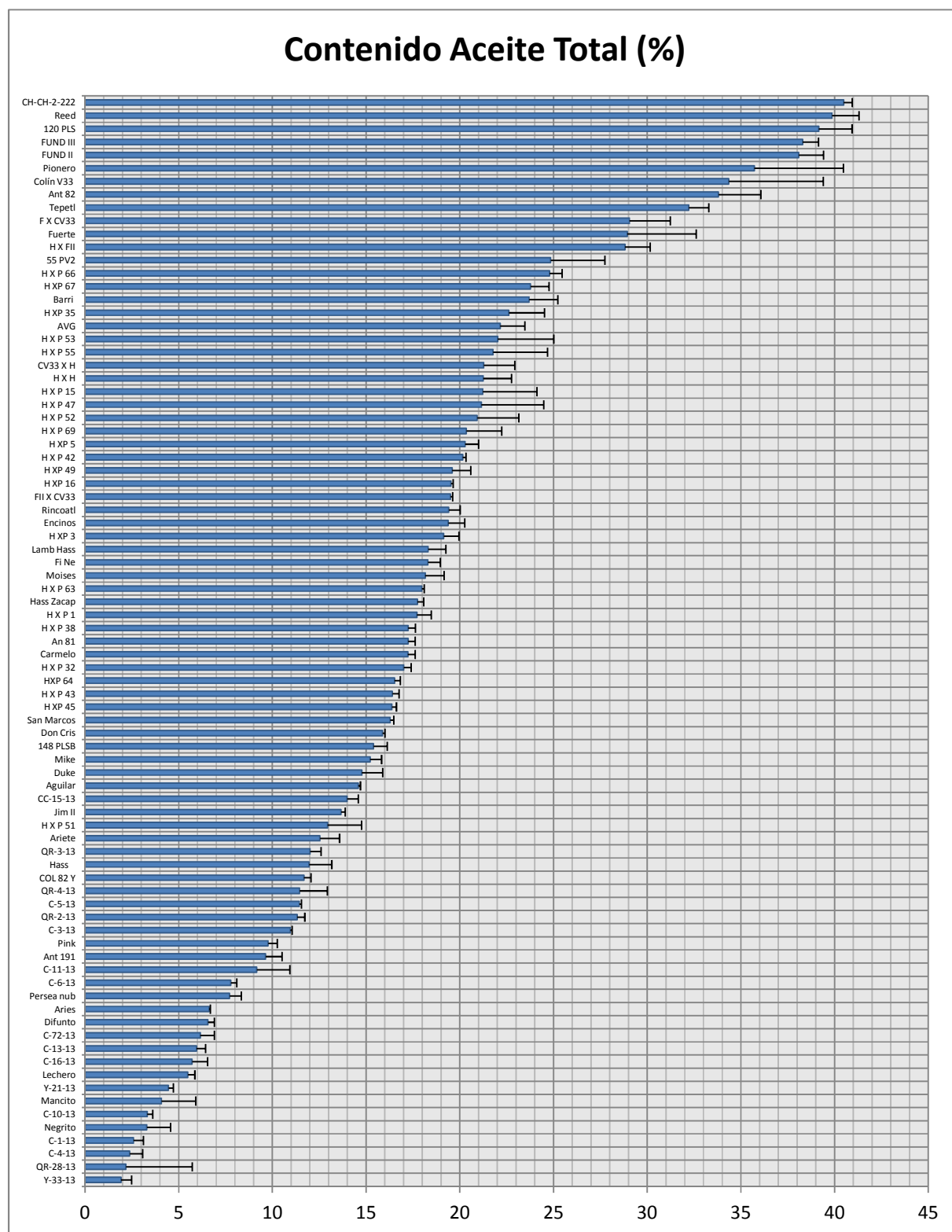


FIGURA 1. Contenido de aceite total (%) en 83 genotipos de aguacate

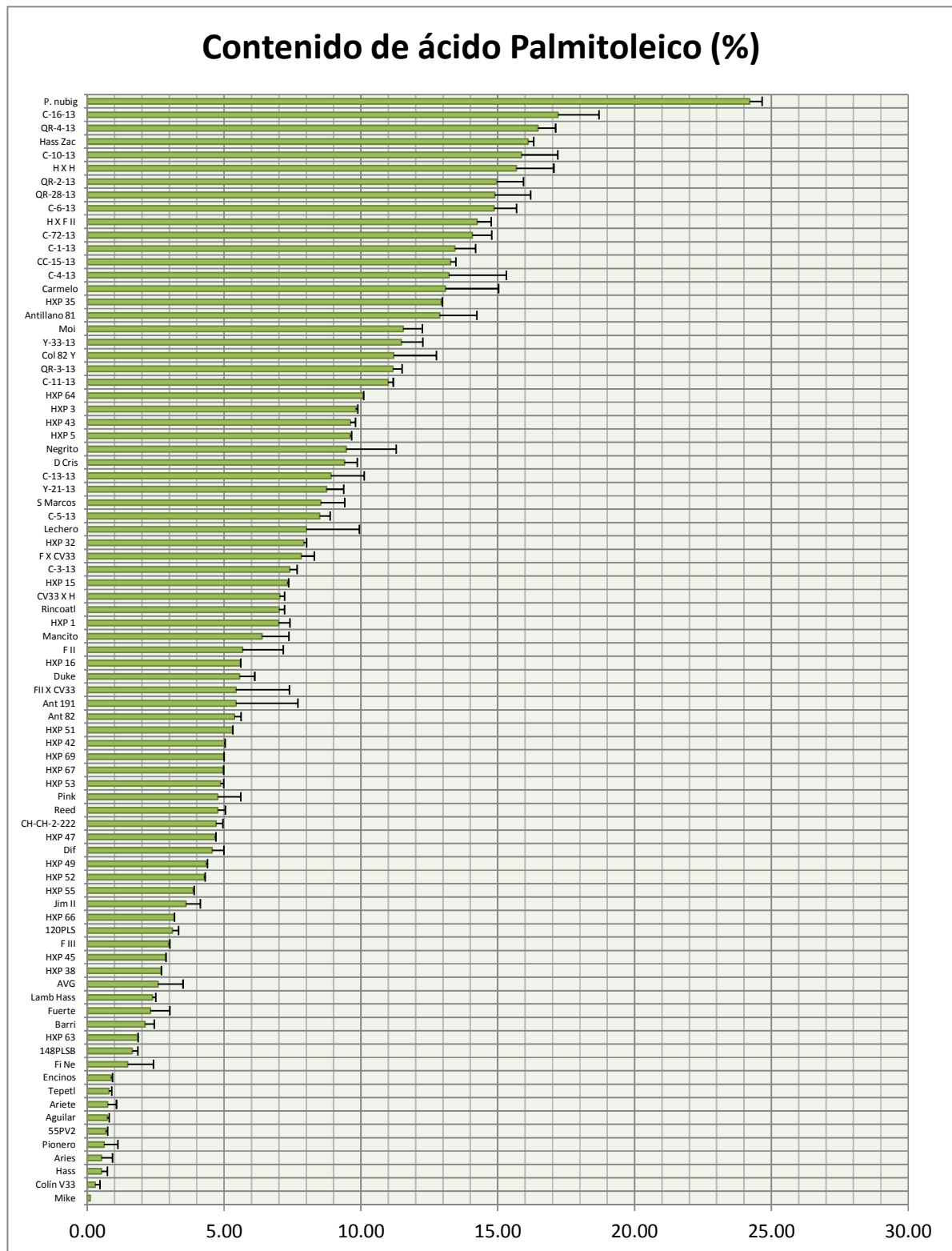


FIGURA 2. Contenido de ácido palmitoleico (%) en pulpa de 83 genotipos de aguacate.

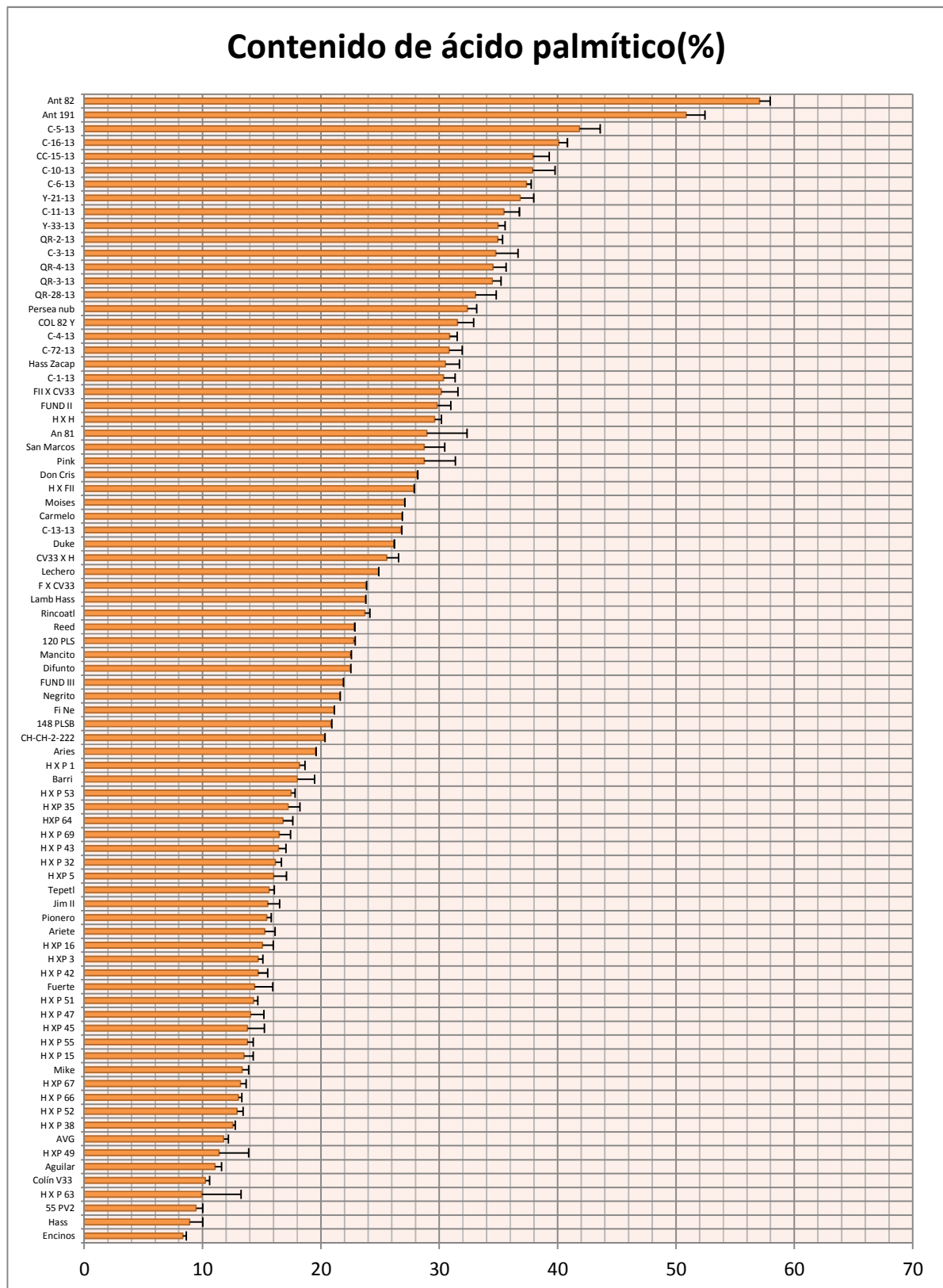


FIGURA 3. Contenido de ácido palmítico (%) en pulpa de 83 genotipos de aguacate

El mayor contenido de ácido linoleico se presentó en ‘Antillano 81’ (25.4 %), seguido de ‘Colecta 82 Yucatán’ (25.30 %), ‘Fundación II’ x ‘Colín V-33’ (23.93 %), ‘Colín V-33’ x ‘Hass’ (22.96 %) y ‘Lechero’ (22.34 %) mientras que los que presentaron menor cantidad fueron ‘Aceitoso de Villa Guerrero’ (2.27 %), ‘Fuerte’ (2.88 %), ‘Hass’ (4.15 %), ‘Duke 7’ (4.34 %) y ‘Jiménez II’ (4.44 %). (FIGURA 4).

El genotipo ‘Aceitoso de Villa Guerrero’ tuvo el mayor porcentaje de ácido oleico (83.05 %), seguido por ‘Colín V-33’ (79.27 %), ‘Fuerte’ (75.53 %), ‘Hass’ x ‘Pionero’ 49 (72 %) y ‘Hass’ x ‘Pionero’ 66 (71.71 %), mientras que el contenido más bajo se obtuvo de ‘QR-4-13’ (21.74 %), ‘Antillano 191’ (22.59 %), ‘QR-2-13’ (24.68 %), ‘C-16-13’ (26.31 %) y ‘C-10-13’ (26.41 %). (FIGURA 5).

El ácido trans-13-octadecenoico se encontró en solo 40 genotipos de los cuales el mayor contenido se encontró en ‘Hass’ x ‘Fundación II’ (6.41 %), seguido por ‘Hass’ x ‘Hass’ (5.98 %), ‘Fundación II’ x ‘Colín V-33’ (5.67 %), ‘Lechero’ (5.16 %) y ‘Negrito’ (4.79 %) y el menor porcentaje se encontró en los genotipos ‘Pionero’ (0.10 %), ‘Pinkerton’ (0.32 %), ‘Lamb Hass’ (0.33 %), ‘Filtro Negro’ (0.48 %) y ‘Ariete’ (0.57 %). (FIGURA 6).

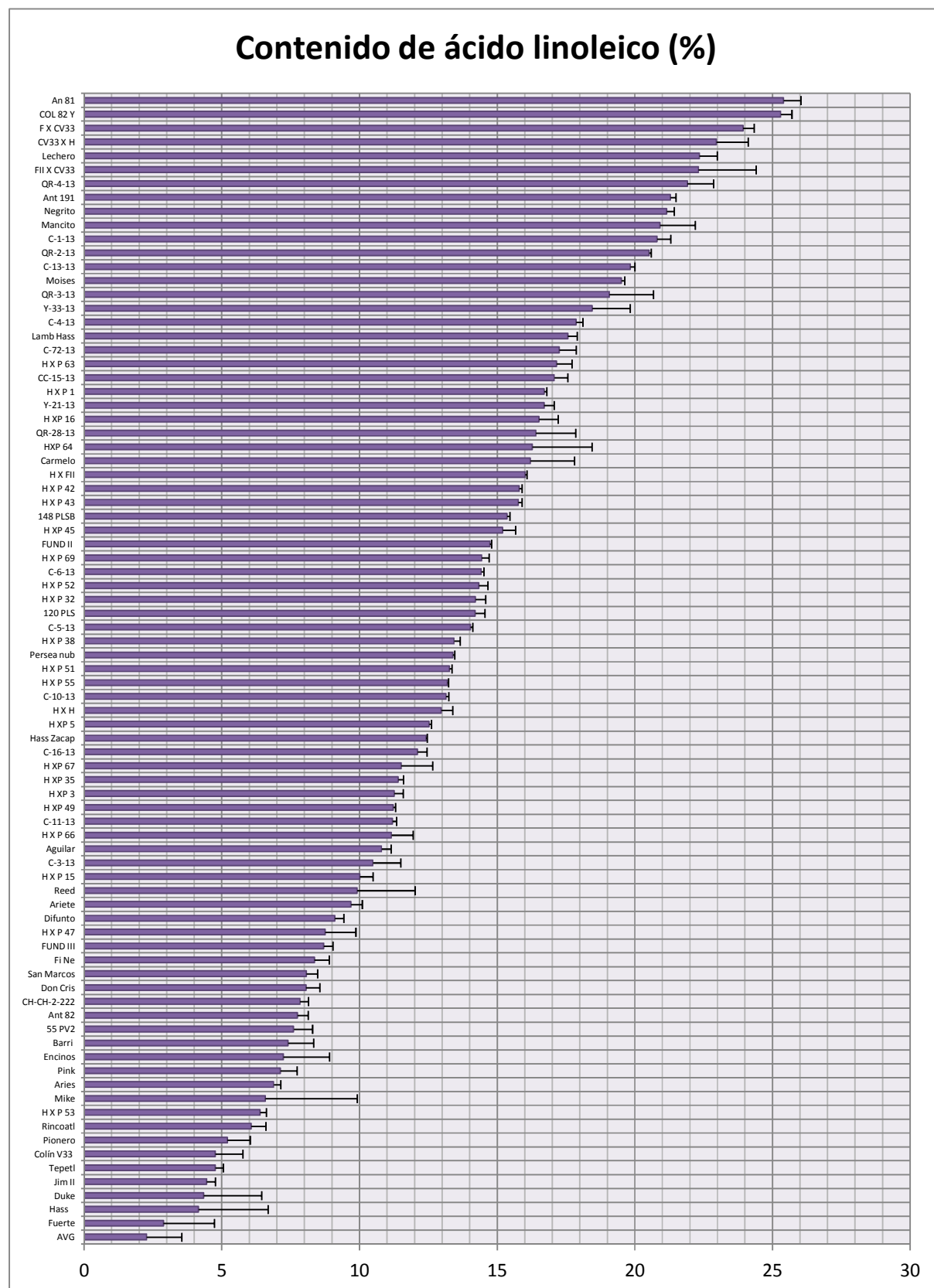


FIGURA 4. Contenido de ácido linoleico (%) en pulpa de 83 genotipos de aguacate

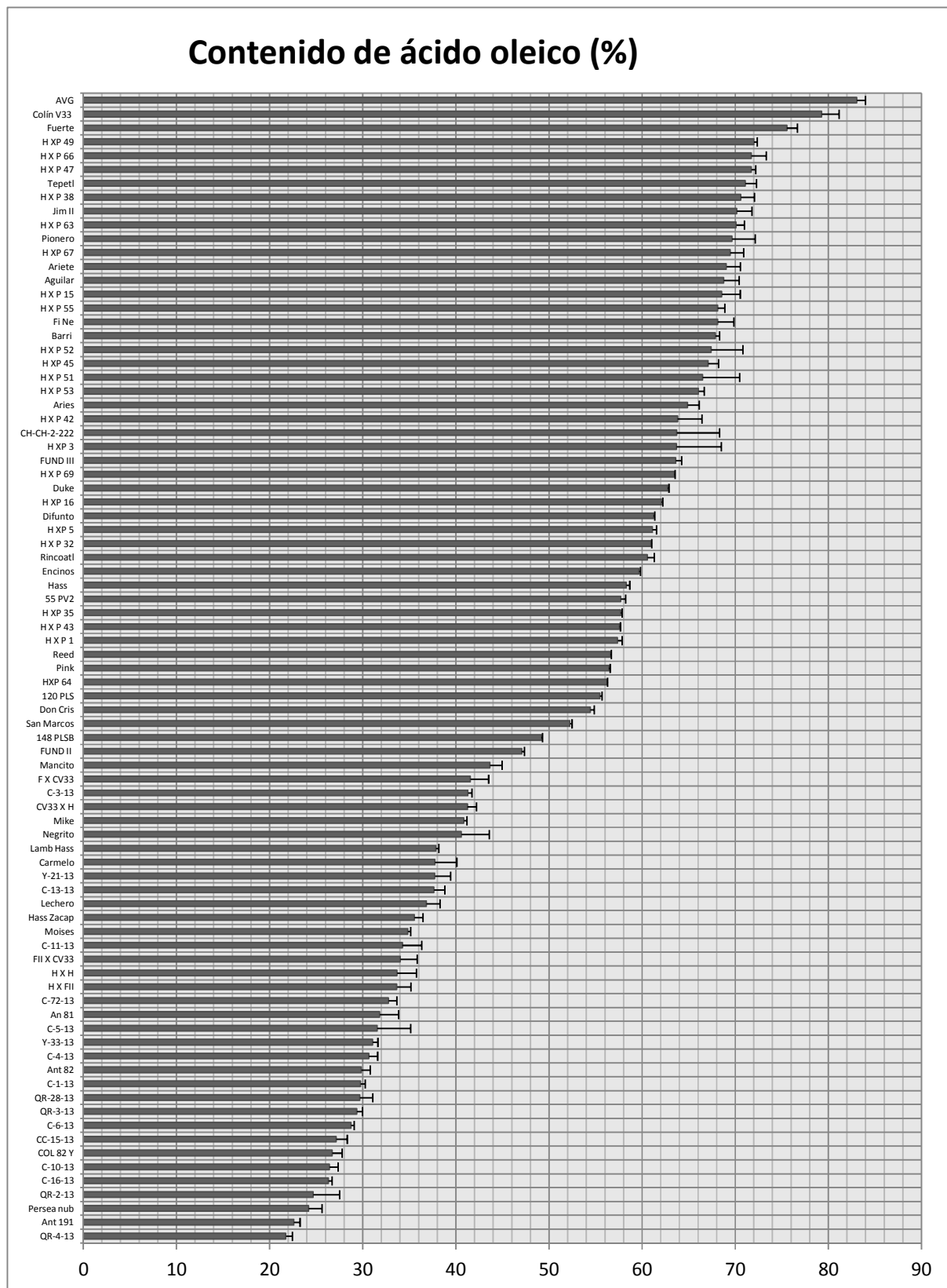


FIGURA 5. Contenido de ácido oleico (%) en pulpa de 83 genotipos de aguacate.

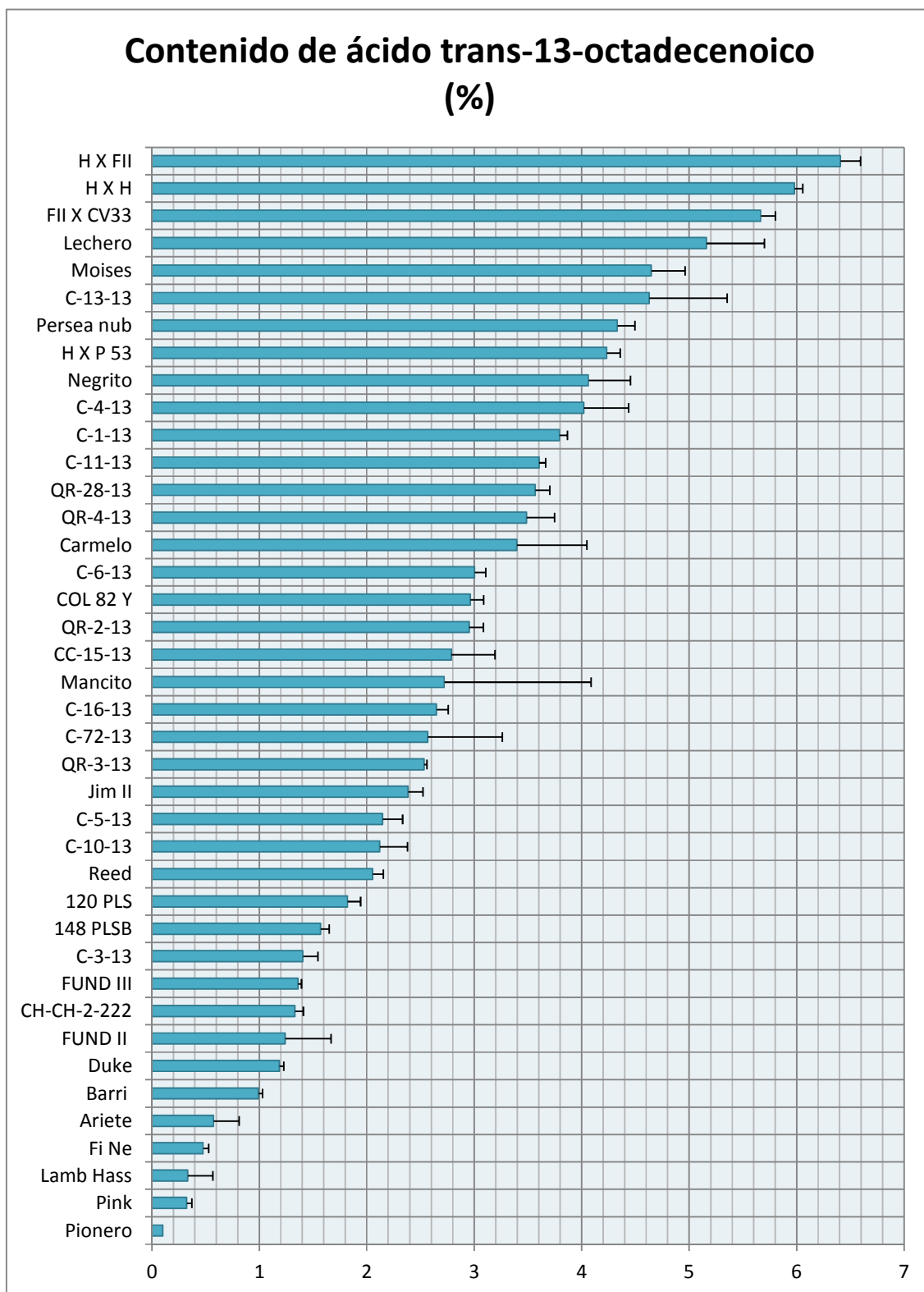


FIGURA 6. Contenido de ácido trans-13-octadecenoico (%) en pulpa de 40 genotipos de aguacate

En cuanto al ácido esteárico, éste se encontró en 71 genotipos, de los cuales se obtuvo la mayor concentración en ‘Hass Zacapala’ (5.43 %), ‘C-3-13’ (4.65 %), ‘C-10-13’ (4.59 %), ‘C-11-13’ (4.50 %) y ‘Y-33-13’ (4.06 %), por otra parte la menor concentración se presentó en los genotipos ‘Ariete’ (0.10 %), ‘Lamb Hass’ (0.22 %), ‘Jiménez II’ (0.24 %), ‘Barri’ (0.27 %) y ‘55 PV2’ (0.31 %). (FIGURA 7).

El ácido metil-z-5,11,14,17-eicosatetraenoico se encontró solamente en los genotipos ‘Tépetl’ (6.94 %), ‘Fuerte’ (4.30 %), ‘Pinkerton’ (2.62 %), ‘CH-CH-2-222’ (2.13 %), ‘Fundación II’ (1.49 %), ‘Mike’ (0.49 %) , ‘Filtro Negro’ (0.48 %), ‘Hass’ (0.24 %), ‘55 PV2’ (0.14 %) y ‘Aceitoso de Villa Guerrero’ (0.14 %).

El ácido metil-8,11,14,17-eicosatetraenoico solo se presentó en los genotipos ‘120 PLS’ (2.96 %), ‘148 PLS’ (11.07 %), ‘55 PV2’ (24.21 %), ‘Aguilar’ (8.10 %), ‘Aries’ (7.63 %), ‘Ariete’ (4.79 %), ‘Barri’ (3.42 %), ‘Colín V-33’ (5.23 %), ‘Encinos’ (23.32 %), ‘Fundación III’ (1.47 %), ‘Hass’ (27.44 %), ‘Jiménez II’ (3.74 %), ‘Lamb Hass’ (18.04 %), ‘Mike’ (37.98 %), ‘Pionero’ (9.20 %), ‘Reed’ (3.51 %).

El ácido dihomo-8-linoleico se presentó solamente en el genotipo ‘Antillano 81’ (0.37 %).

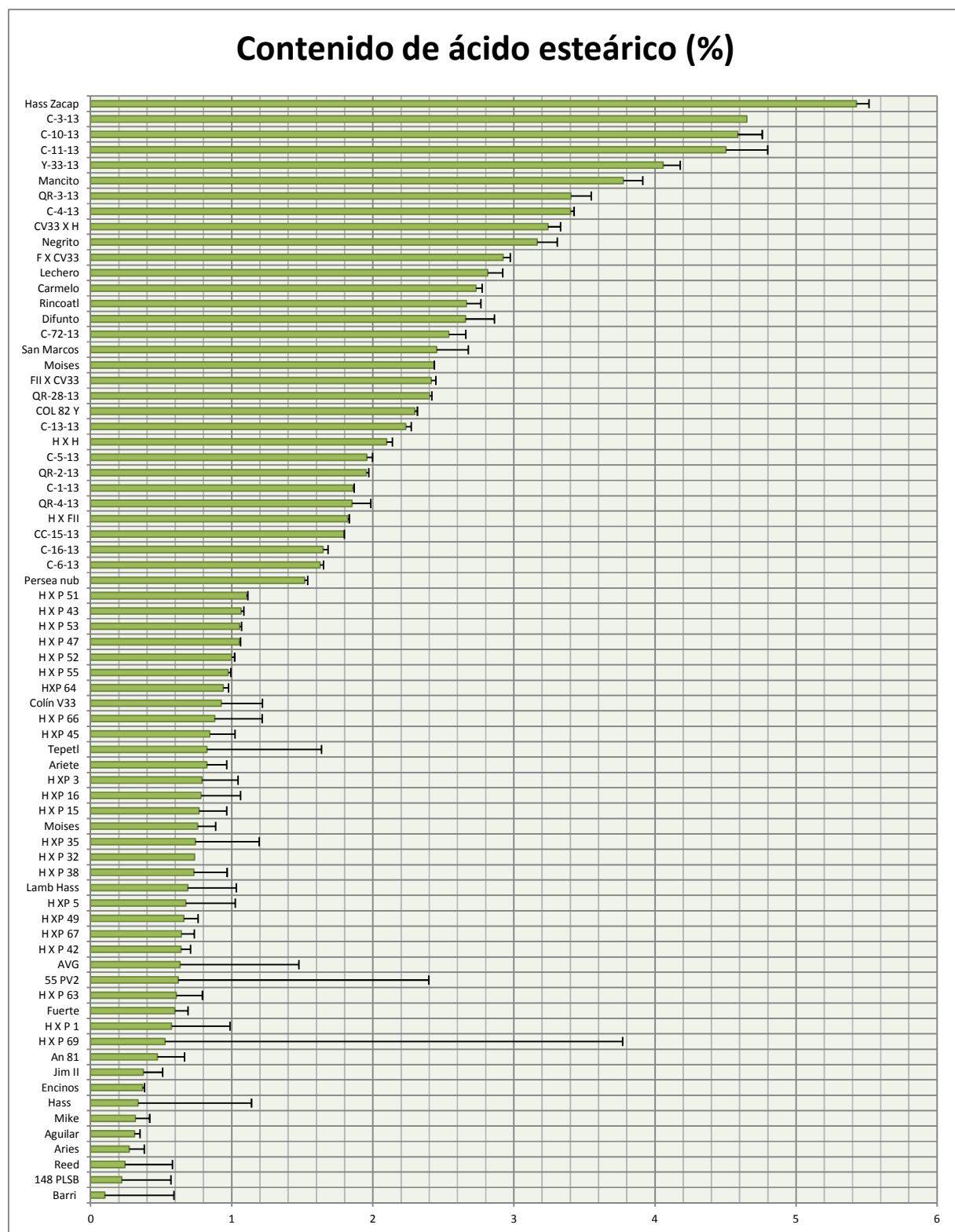


FIGURA 7. Contenido de ácido esteárico (%) presente en pulpa de 71 genotipos de aguacate.

Análisis de Componentes Principales

Para encontrar la variabilidad en el conjunto de datos, se realizó un análisis de componentes principales, el cual determinó que los primeros cuatro componentes concentraron el 75.2 % de la variabilidad de los datos (FIGURA 8).

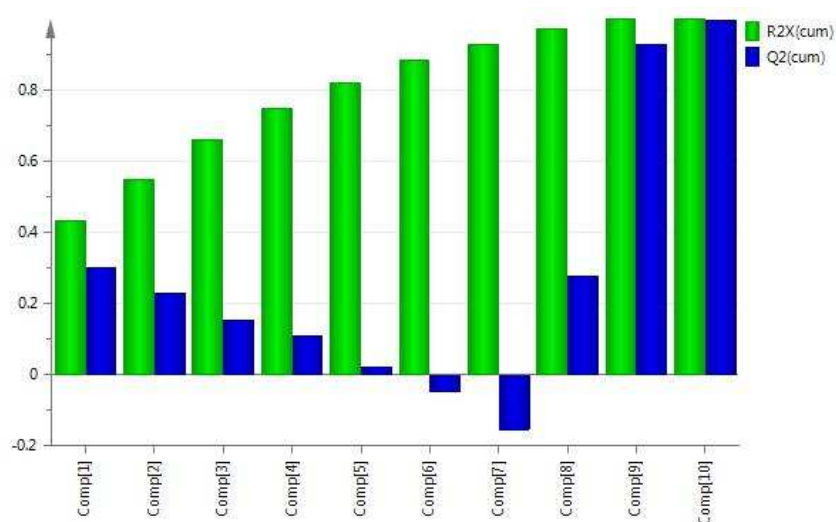


FIGURA 8. Análisis de componentes principales de 83 genotipos de aguacate con respecto a su contenido de aceite y ácidos grasos.

El componente principal número uno (CP1) explicó el 43.4 % de la variación de los datos, dentro de éste, las características que en mayor proporción definieron variabilidad fueron: ácido oleico, ácido palmitoleico y ácido palmítico.

El componente principal número dos (CP2) representó el 11.6 % del total de la variación, y estuvo agrupada con base en las variables: metil-8,11,14,17-eicosatetraenoico, dihomo-8.linoleico y metil-Z-5-11,14,17-eicosatetraenoico.

El componente principal número tres (CP3) constituyó el 11.4 % del total de la variabilidad de los datos y se encontró dada por las variables: dihomo-8.linoleico y metil-Z-5-11,14,17-eicosatetraenoico.

El componente principal número cuatro (CP4) expresó el 8.85 % de la variación total, y se presentó en las variables: metil-Z-5-11,14,17-eicosatetraenoico y metil-8,11,14,17-eicosatetraenoico.

Las variables en el espacio bidimensional se distribuyeron en los cuatro cuadrantes, dónde se presentaron alejados del origen (FIGURA 9a). Respecto a los genotipos de la raza antillana, estos se aglomeraron cercanamente (FIGURA 9b) y las cruzas e híbridos, raza mexicana se dispersaron más en los cuadrantes. Cuatro genotipos se alejaron más del resto, ‘Antillano 81’ (raza antillana) aislado en un cuadrante por su contenido de dihomo-8.linoleico, ‘Tepetl’ (raza mexicana) aislado en un cuadrante por su contenido de metil-Z-5-11,14,17-eicosatetraenoico y aceite, además de ‘Mike’ (raza guatemalteca) y ‘Hass’ (híbrido raza guatemalteca y mexicana) juntos en un cuadrante donde metil-8,11,14,17-eicosatetraenoico los caracterizó.

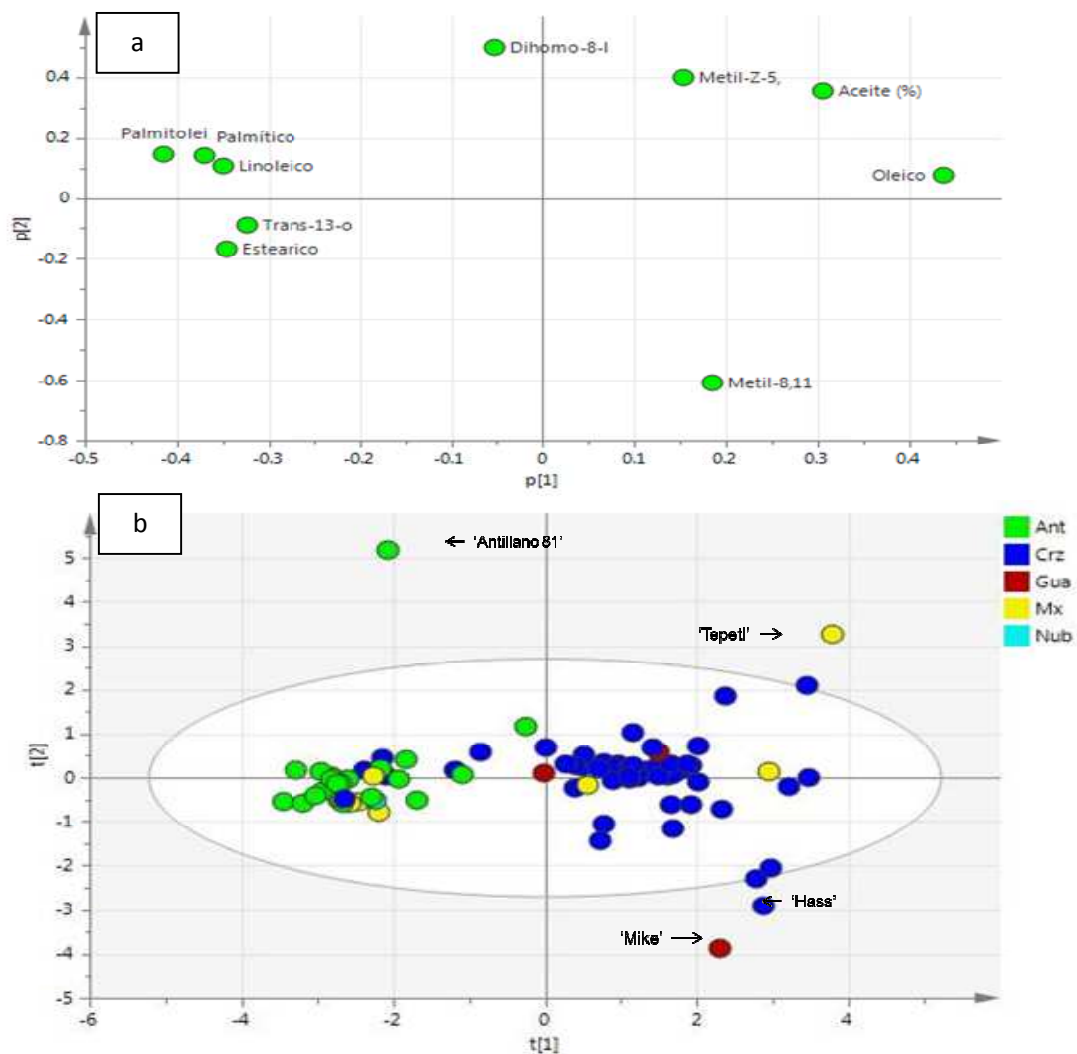


FIGURA 9. Variables de ácidos grasos (a) y genotipos de aguacate (b) en el espacio bidimensional. Ant: raza antillana; Crz: craza o híbrido; Gua: raza Guatemalteca; Mx: raza Mexicana; Nub: *Persea nubigena*.

Análisis Discriminante

Mediante el análisis discriminante se observó la separación de los cinco grupos predeterminados (FIGURA 10): donde la raza mexicana se separó de las otras razas por su contenido de ácido oleico, trans-13-octadecenoico y metil-Z-5-11,14,17-eicosatetraenoico; la raza antillana se caracterizó por la presencia de ácido palmítico, palmitoleico y linoleico; la raza guatemalteca que se distinguió por la concentración de metil-8,11,14,17-eicosatetraenoico; cruza e híbridos se agruparon por la presencia de metil-8,11,14,17-eicosatetraenoico, contenido de aceite y ácido oleico; *Persea nubigena* se caracterizó por el contenido de ácido palmitoleico, esteárico y trans-13-octadecenoico.

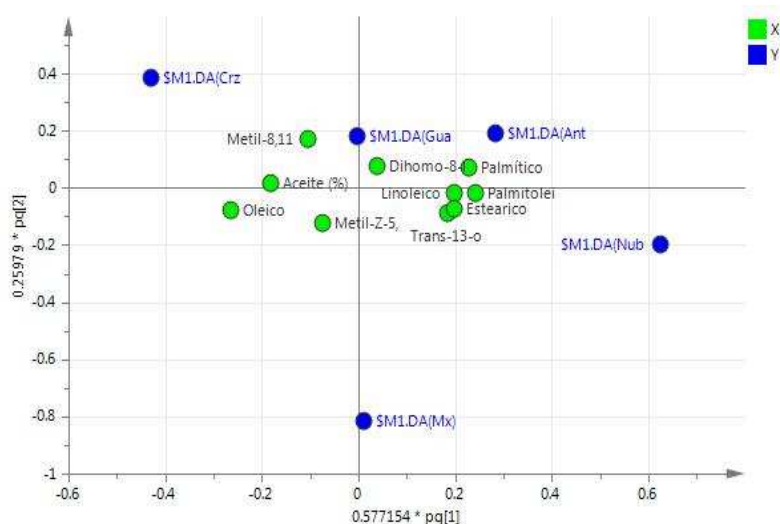


FIGURA 10. Separación de los grupos de genotipos de aguacate con respecto a las variables de contenido ácidos grasos y aceite.

Se encontró que algunos genotipos se distribuyeron fuera de la gama de dicha clasificación previa, lo que indica la alta variabilidad de los mismos, donde se encontraron genotipos que se separaron fuertemente del resto, que son el caso de 'Mike', 'Antillano 81', 'Antillano 82', 'Fuerte' y 'Tepetl' (FIGURA 11). Sin embargo, los genotipos de la raza antillana se aglomeraron más cercanos a pesar de que algunos se separaron aún más.

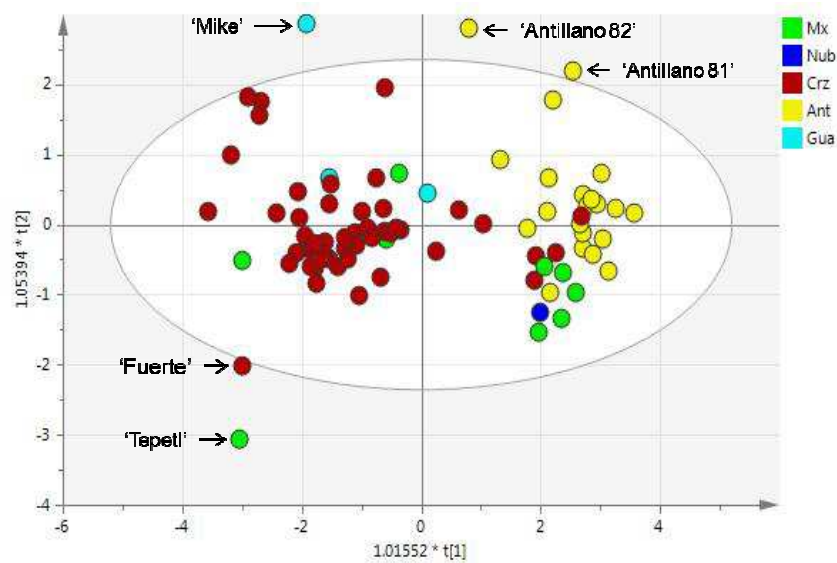


FIGURA 11. Separación de los genotipos aguacate analizados con respecto a las variables de contenido de ácidos grasos y aceite.

Análisis de Correlación

A través del análisis de correlación (CUADRO 2), se determinó que la cantidad de ácido palmitoleico con respecto a la producción de ácido palmítico y esteárico es directamente proporcional, por lo que hay una correlación positiva, caso contrario para la producción de ácido oleico, pues mientras mayor cantidad haya de ácido palmitoleico, menor es la de ácido oleico.

En cuanto al ácido palmítico y linoleico, así como el ácido esteárico y trans-13-octadecenoico su producción se inhibe si hay mayor producción de ácido oleico.

CUADRO 2. Matriz de correlación de variables de contenido de ácidos grasos y de aceite de 83 genotipos de aguacate.

	Aceite (%)	Palmitoleico	Palmítico	Linoleico	Oleico	Trans-13	Estearico	Metil-Z-5,11	Metil-8,11	Dihomo-8-linoleico
Aceite (%)	1.000000	-0.477403	-0.376288	-0.391659	0.531607	-0.296769	-0.502121	0.238433	0.044605	0.004006
Palmitoleico		1.000000	0.620952	0.528028	-0.744471	0.529015	0.584159	-0.231561	-0.453019	0.133219
Palmítico			1.000000	0.391603	-0.842030	0.415789	0.405092	-0.108760	-0.334733	0.063613
Linoleico				1.000000	-0.659966	0.417841	0.419151	-0.310746	-0.309568	0.235173
Oleico					1.000000	-0.590904	-0.568982	0.217570	0.081211	-0.127290
Trans-13-octadecenoico						1.000000	0.449088	-0.138861	-0.208173	-0.082949
Estearico							1.000000	-0.167168	-0.242824	-0.067637
Metil-Z-5,11,14,17-eicosatetraenoico								1.000000	-0.028503	-0.026302
Metil-8,11,14,17-eicosatetraenoico									1.000000	-0.038614
Dihomo-8-linoleico										1.000000

V. DISCUSIÓN

Se encontraron genotipos con contenido de aceite superior al 40 % e inferior al 15 %, siendo las cruzas e híbridos las de mayor contenido (6.5 hasta 40 %), seguido por la raza guatemalteca (9.6 a 39 %), raza mexicana (2.3 a 32 %), raza antillana (1.9 a 33.8 %) y *Persea nubigena* (5.8 a 10 %). Lee *et al.* (1983) indicaron que el contenido de aceite total en el fruto de aguacate, puede variar entre 15 y 30% (con base a peso fresco), dependiendo del cultivar y estacionalidad. Por su lado Biale y Young (1971) mencionaron que para la raza mexicana el contenido de aceite varía de 10 a 13 %, para la raza guatemalteca de 15 a 25 % y en la raza antillana el contenido es de 2.5 a 5 %, mientras que Avilán (1985) reporta a los de raza mexicana como los de mayor contenido (entre 10 y 15 %), en la raza guatemalteca (10 a 13 %) y la raza antillana con los porcentajes más bajos (entre 4 y 7 %). Mediante el análisis obtenido, se observó que en la raza guatemalteca el contenido varía de 15 a 39.8 %, en la raza antillana varía desde 1.9 hasta 33.8 %, la raza mexicana de 2.3 a 32.2 % y en las cruzas la variación va desde el 6.6 hasta el 40.4 %.

Los estudios anteriores indican que en el caso de nuestras muestras analizadas derivadas de los genotipos muestran alta variabilidad respecto al contenido de aceite ampliando la gama de límites de contenido de aceite. Los genotipos ‘CH-CH-2-222’ (40.48 %), ‘Reed’ (39.93 %), y ‘120 PLS’ (39.15 %) presentaron alto contenido de aceite, los cuales se adaptan a condiciones subtropicales, mientras los que son de origen tropical

obtuvieron los menores contenidos de aceite. La variabilidad en cuanto al contenido de aceite total está influenciada, según Ahmad y Barmore (1980), a que la composición de los ácidos grasos está influenciada por la localización geográfica, el cultivar o raza y estado de maduración, e inclusive con la fertilización nitrogenada (Abou Aziz *et al.*, 1975) o el portainjerto utilizado (Kadman y Ben-Ya'acov, 1975; Gregoriou, 1992).

De acuerdo a Duester (2000) cerca del 60 % de los ácidos grasos en aguacate son monoinsaturados, el 20 % poliinsaturados y el resto saturados. Cuando el fruto madura, disminuye el contenido de ácido palmítico (saturado) y aumenta el de ácido oleico (monoinsaturado). En los genotipos evaluados destacó el 'Aceitoso de Villa Guerrero' en cuanto a contenido de ácido oleico, pues autores como Ratovohery *et al.*, (1988), Duester (2000) y Ozdemir y Topuz (2004) indicaron que dicho ácido graso se encuentra en no más de 80 % de contenido en pulpa de aguacate, y 'Aceitoso de Villa Guerrero' presentó en este caso, un 83.05 % de ácido oleico. Dicho ácido graso ejerce una acción beneficiosa en los vasos sanguíneos, reduciendo el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (Dreher y Davenport, 2013), por lo que en frutos de aguacate, se busca que el contenido de este ácido sea abundante para aprovechar beneficios para la salud, ya sea consumido en fresco o mediante la industrialización, ya que se compara con los contenidos en el aceite de oliva (Tango *et al.*, 2004) y que en este caso lo supera, ya que los contenidos en aceite de olivo refinado están entre 77 y 79 % de ácido oleico. (Alvizouri y Rodríguez, 2009).

Zhong *et al.* (2007) y Alvizouri y Rodríguez (2009) indicaron el contenido de ácido linoleico en pulpa de aguacate en valores no mayores a 16 %, mientras que en el presente estudio los genotipos ‘Antillano 81’, ‘Colecta 82 Yucatán’, algunas cruasas como ‘Fundación II’ x ‘Colín V-33’ y ‘Colín V-33’ x ‘Hass’ y ‘Lechero’ perteneciente a la raza mexicana, presentaron un contenido mayor a 20 % de este ácido graso. El ácido linoleico es un ácido graso Omega 6 y es esencial porque el organismo no puede sintetizarlo, por lo que debe obtenerse a través de los alimentos, este tipo de compuestos ayudan en la formación de membranas celulares, producción de hormonas, y al correcto funcionamiento del sistema inmunológico, a la formación de la retina y al funcionamiento de las neuronas y las transmisiones químicas, además de que reduce los niveles de triglicéridos, disminuye el colesterol, y puede utilizarse en el control de alergias en la piel, acné, para distensiones y desgarros musculares (Alvizouri y Rodríguez 2009)

El ácido dihomo-8-linoleico es un ácido graso producto de la desaturación del ácido linoleico o un alargamiento del ácido linolénico (Alvizouri y Rodríguez 2009), y presenta propiedades antiinflamatorias, antiescleróticas, antihemorrágicas, antiartríticas e hipocolesterolímicas (Zhong *et al.*, 2007). Este ácido se encontró solo en el genotipo ‘Antillano 81’, mismo que fue el más alto en ácido linoleico, por lo que se cree, se presentó una desaturación del ácido linoleico.

El ácido palmítico es el principal ácido graso saturado de la dieta, el más abundante en las carnes y grasas lácteas, por lo que es el ácido graso menos saludable, ya que aumenta los niveles de colesterol en la sangre, este compuesto se encontró principalmente en genotipos de raza antillana. (Duester, 2000) y (Pérez *et al*, 2005) indicaron que cuando el fruto madura, disminuye el contenido de ácido palmítico (saturado) y aumenta el de ácido oleico (monoinsaturado), y en los genotipos analizados, se encontró que los que tuvieron mayor cantidad de ácido palmítico, presentaron una baja cantidad de ácido oleico, lo cual fue corroborado con el análisis de correlación. Un uso alternativo al consumo que puede darse a genotipos con alto contenido de ácido palmítico, es para la elaboración de jabones, cosméticos, detergentes, y lubricantes (Duester, 2000).

En cuanto al ácido palmitoleico, éste es biosintetizado a través del ácido palmítico por la acción de la enzima delta-9-desaturasa, por lo que se encuentra en gran variedad de grasas animales, aceites vegetales y aceites marinos (Duester, 2000). Este ácido se encontró en genotipos de raza antillana principalmente, 'Hass' Zacapala y cruces de 'Hass' x 'Hass' y 'Hass' x 'Fundación II'.

El ácido esteárico es utilizado principalmente en la elaboración de cosméticos, fabricación de velas, jabones, plásticos y para ablandar caucho (Duester, 2000). Se encontró al igual que los ácidos palmítico y palmitoleico en genotipos de raza antillana.

A través del análisis de componentes principales y discriminante se encontró que varios genotipos se dispersaron en los diferentes cuadrantes, no presentando una

conglomeración propia, con la excepción de la raza antillana que fue fuertemente influida por el ácido palmítico tal como lo indicó (Tango *et al.*, 2004). Un estudio utilizando cuatro variedades de aguacate contrastantes mostró que era posible tener buena separación ellos mediante un análisis discriminante y que es buena herramienta para poder separar genotipos donde no se conoce su origen (Ratovohery *et al.* 1988), sin embargo, en el presente estudio existió gran variación entre genotipos y no se podría asegurar su clasificación plena, ya que varios genotipos tuvieron combinaciones únicas de ácidos grasos. Lo anterior da la oportunidad de elegir genotipos para ser destinados a varios objetivos de la industria.

VI. CONCLUSIONES

El genotipo con mayor concentración de aceite total fue CH-CH-2-222 con 40.48 %. El ácido oleico se presentó en mayor concentración en el genotipo ‘Aceitoso de Villa Guerrero’ con 83 %, esto lo convierte en un buen candidato a ser explotado por la industria del aceite, ya que presenta buena calidad, muy por encima del aceite refinado de oliva.

Los ácidos grasos y el aceite contenido en la pulpa de aguacate de los distintos genotipos mostraron una amplia variabilidad, por lo que existe la posibilidad de elegir individuos con características únicas en su perfil de ácidos grasos según los fines que se busquen.

VII. LITERATURA CITADA

- ABOU AZIZ, A.B., DESOUKI, I., EL-TANAHY. 1975. Effect of nitrogen fertilization on yield and fruit oil content of avocado trees. *Scientia Horticulturae* 3: 89-94.
- AHMED, E. M., BARMORE. 1980. Avocado. *In*: Nagy, S., and P. E. Shaw (eds). Tropical and subtropical fruits: composition, properties and uses. AVI Publishing Inc. Westport Connecticut, pp: 121-156.
- AVILÁN R., L. 1985. Cuando cosechar el aguacate. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. IIA Frutales. Caracas, Venezuela.
- BARRIENTOS PRIEGO, A. F.; Y LÓPEZ L., L. 2000. Historia y Genética del Aguacate. *In*: El Aguacate y su Manejo Integrado. TÉLIZ, D. (ed.). Ediciones Mundi-Prensa, D.F., México. pp. 19-30.
- BEN YA'ACOV, A. 1992. A study of avocado germplasm resources, 1988-1990. II.- Findings from the central part of México. Proc. of Second World Avocado Congress 1992. pp 543-544.
- BEN YA'ACOV, A.; SOLIS-MOLINA, A.; BUFLER, G. 2003 The mountain avocado of Costa-Rica. *Persea americanavar. costaricensis*, a new subspecies. Proceedings V World Avocado Congress, Consejería de Agricultura y Pesca. Málaga, España, pp. 27-33.

- BERG, B. ELLSTRAND N. 1986 Taxonomy of the Avocado. California Avocado Society Yearbook 70:135–146.
- BERG B. 1992. The origin, nature and genetic improvement of avocado. California Avocado Society Yearbook. 76:61–75.
- BIALE, J. B., YOUNG, R.E. 1971. The avocado pear. *In*: Hulme A. C. (ed) The Biochemistry of Fruits and Their Products. Vol. 2. HULME, A.C. (ed) Academic Press, London, England. pp:1-63.
- BLAKE S.F. 1920. A preliminary revision of the North American and West Indians avocados (*Persea* spp.) Journal of the Washinton. Academy of Science. 10: 9-21.
- BORA, P. S.; NARAIN, N.; ROCHA, R.V.M.; PAULO, M.Q. 2001. Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits. Grasas y Aceites 52:171-174
- CAMPOS, ROJAS, E.; ESPÍNDOLA BARQUERA, MA. C.; MIJARES OVIEDO, P. 2008. Diversidad del género *Persea* y sus usos. Fundación Salvador Sánchez Colín - CICTAMEX S. C. Coatepec Harinas, México. 60 p.
- DREHER, M.L.; DAVENPORT, A.J. 2013. Hass avocado composition and potential health effects. Critical Review of Food Science and Nutrition 53(7): 738–750.
- ESTEBAN, P. 1993. Estimación del contenido de aceite, a través de la humedad y su relación con palatabilidad en frutos de palto de las variedades Negra de la

Cruz, Bacon, Edranol y Hass, desde la última etapa de desarrollo hasta la madurez fisiológica. Tesis Ing. Agr. Quillota. U. 250 Católica de Valparaíso. Escuela de Agronomía. Quillota, Chile. 54 p.

GAMA CAMPILLO L.A.; GOMEZ P., A. 1992. An ethnoecological approach for the study of *Persea*: a case study in the Maya area. Proceedings of the 2nd World Avocado Congress, CA, USA. pp 11–17.

GREGORIOU, C. 1992. Yield growth and fruit quality of ‘Fuerte’ and ‘Ettinger’ cultivars of avocado on four rootstocks in Cyprus. California Avocado Society Yearbook 76: 159-164.

HATTON JR, T. T.; HARDING, P.L.; REEDER, W.F. 1964. Seasonal changes in Florida avocados. Proceedings of the. Florida State Horticulture Society 72: 349-353.

HEISER C., B. 1965. Cultivated plants and cultural diffusion in nuclear America. American Anthropologist 1:930-949.

HEGSTED, D. M.; KRITCHEVSKY, D. 1997. Diet and serum lipid concentration: where are we? American Journal of Clinical Nutrition 65: 1893-1896.

HEYDEN, S. 1994. Polyunsaturated and monounsaturated fatty acids in the diet to prevent coronary heart disease via cholesterol reduction. Annals of Nutrition and Metabolism. 38: 117-122.

- JAKAB, A.; HEBERGER, K.; FORGACS, E. 2002. Comparative analysis of different plant oils by high-performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Journal of Chromatography. A.* 976: 255-263.
- KADMAN, A.; BEN-YA'ACOV, A. 1976. Selection of avocado rootstocks for saline conditions. *Acta Horticulturae* 57: 189-197.
- KAISER, C.; SMITH, M.T.; WOLSTENHOLME, B.N. 1994. Overview of lipids in the avocado fruit, with particular reference to the Natal Midlands. *South African Avocado Growers' Association Yearbook.* 15:78-82.
- KEVERS, C.; FALKOWSKI, M.; TABART, J.; DEFRAIGNE, J.; DOMMES, J.; PINCEMAIL, J. 2007. Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 8596-8603.
- LEE, S. K.; YOUNG, R. E.; SCHIFFMAN, P. M.; COGGINS, C. W. 1983. Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. *Journal of the American Society Horticulture Science.* 108, 390–394.
- LAVI U.; SA'ADA D.; RAGEV I.; LAHAV E.; 2003 Avocado genetics and breeding-present and future. *World Avocado Congress, Consejería de Agricultura y Pesca. Málaga, España.* pp. 134–135.

- LETAWE, C.; BOONE, M.; PIERARD, G.E. 1998. Digital image analysis of the effect of topically applied linoleic acid on acne microcomedones. *Clinical and Experimental Dermatology* 23:56-58.
- LOOB, K.; CHOW, C.K. 2000. Fatty acids in foods and their health implications, 2nd ed. Chow C.K. (Ed.). Marcel Dekker, New York, USA. pp. 241.
- LÓPEZ, R.; FRATI M., A.; HERNÁNDEZ D., B.; CERVANTES, S.; HERNÁNDEZ, M.; JUÁREZ, C.; MORAN, S. 1996. Monounsaturated fatty acid (avocado) rich diet for mild hypercholesterolemia. *Archives of Medical Research* 27: 519-523.
- LU, Q.; ZHANG, Y.; WANG, D.; LEE, R.; GAO, K.; BYRNS, R.; HEBER, D. 2009. California 'Hass' avocado: profiling of carotenoids, tocopherol, fatty acid, and fat content during maturation and from different growing areas. *Journal of Agriculture Food Chemistry* 57: 10408-10413.
- MARTÍNEZ, N. L.; MORENO, R.V. 1995. Parameters for determining the maturity of avocados. *Industries – Alimentaires et Agricoles* 112: 200-203.
- MATAIX, J.; GIL, Y.A. 2002. Lípidos Alimentarios. Libro Blanco de los Omega-3. Los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y monoinsaturados tipo oleico y su papel en la salud. Instituto Omega. Editorial Puleva. Granada, España. pp: 13-33.

- MEYER, M. D.; TERRY, L.A. 2008. Development of a rapid method for the sequential extraction and subsequent quantification of fatty acids and sugars from avocado mesocarp tissue. *Journal of Agriculture Food Chemistry* 56: 7439-7445.
- OZDEMIR, F.; TOPUZ, A. 2004. Changes in dry matter, oil content, and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chemistry* 86: 79-83.
- PIKE, L. J. 2009. The challenge of lipid rafts. *Journal of Lipids Research* 50: 323-328.
- RATOHIVERY, J. V.; LOZANO, Y.F.; GAYDOU, E.M. 1988. Fruit development effect on fatty acid composition of *Persea americana* fruit mesocarp. *Journal of Agriculture Food Chemistry* 36: 287-293.
- RENNER S. 1999. Circumscription and phylogeny of Laurales: evidence from molecular and morphological data. *Americal Journal Botany* 86:1301–1315.
- REQUEJO, C.; LUND, C.; WHITE, A.; WONG, M.; MCGHIE, T.; EYRES, L.; BOYD, L.; WOOLF, A. 2003. Aceite de aguacate por presión en frío - Una novedad saludable. *Proceedings V World Avocado Congres, Consejería de Agricultura y Pesca. Málaga, España. Resumen A-205: 460-461.*
- ROHWER, J. G. 1993. Lauraceae. *In: The Families and Genera of Vascular Plants*, vol II. KUBITZKI K.; ROHWER J.G.; BETTRICH V. (eds.). Springer, USA, pp 366–379.

RUIZ, R. A.; REGLERO, G.; IBÁÑEZ, E. 2010. Recent trends in the advanced analysis of bioactive fatty acids. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis of bioactive fatty acids*. 51: 305-326.

RUSTAN, A. C.; DREVON, C.A. 2005. Fatty acids: structures and properties. *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley & Sons. Ltd. Chichester, UK. p: 1-7.

SCHIEBER, E.; ZENTMYER, Y.G.A. 1978. *Persea zentmyerii*: a new species from Guatemala. *California Avocado Society Yearbook*. 76 : 199 – 203.

SIAP 2015, Consultada el 3 de abril de 2015, <http://www.siap.gob.mx/siaprendes/contenidos/2/02-aguacate/contexto-4.html>

SAGARPA, MÉXICO.

SOARES, S. E.; MANCINI F., J.; DELLA MODESTA, R.C. 1992. Sensory detection limits of avocado oil in mixtures with olive oil. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 32: 509-516.

STOREY W.; BERG, B.; ZENTMYER, GA. 1986. The origin, indigenous range, and dissemination of the avocado. *California Avocado Society Yearbook* 70: 127–133.

TANGO, J.S.; CARVALHO, C.R.L.; ESOARES, N.B. 2004. Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. *Revista Brasileira de Fruticultura* 26(1): 17-23.

TÉLIZ, D.; MORA, A. 2007. El aguacate y su manejo integrado. 2a ed. Mundi-Prensa. D.F. México. p: 300

VILLA R, J. A.; MOLINA C., F.J.; AYALA Z., J.F.; OLIVAS, G.I.; GONZALEZ A, G.A. 2011. Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. Food Research International 44: 1231-1237

WILLIAMS, L.O. 1976. The botany of the avocado and its relatives. Proc. 1st international Tropical fruit short course, the avocado. University of Florida, Gainesville, Florida. USA. pp. 9-15.

WILLIAMS, LO.1977. The avocados, a synopsis of the genus *Persea*, subg. *Persea*. Economic Botany 31: 315–320.

YAHIA, E. M. 2010. The contribution of fruits and vegetables consumption to human health. *In*: Fruit and vegetable phytochemicals: chemistry, nutritional and stability. DE LA ROSA, L.A.; ALVAREZ PARRILLA, E.; GONZALEZ AGUILAR, G. (eds) Wiley-Blackwell. Iowa, USA. pp: 3-52