UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

CARACTERIZACIÓN DE FRUTOS DE AGUACATE CRIOLLO (*Persea americana* var. *drymifolia*) EN TÉRMINOS DE SU CONTENIDO DE FITOQUÍMICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO MÉXICO
DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA

ESLÍ MARTÍNEZ LÓPEZ

Chapingo, Estado de México; diciembre de 2014.

CARACTERIZACIÓN DE FRUTOS DE AGUACATE CRIOLLO (*Persea americana* var. *drymifolia*) EN TÉRMINOS DE SU CONTENIDO DE FITOQUÍMICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Tesis realizada por **Eslí Martínez López** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

DIRECTOR: DR. JOEL CORRALES GARCÍA

CO-DIRECTORA: DRA. MA. DEL ROSARIO GARCÍA MATEOS

ASESOR: DR. ALEJANDRO F. BARRIENTOS PRIEGO

ASESORA: DR. MA. CARMEN YBARRA MONCADA

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia, en especial a mis padres, por su motivación y cariño.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad de cumplir una meta más en mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por brindarme el apoyo financiero para llevar a cabo los estudios de maestría.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) por el financiamiento otorgado para la culminación de este trabajo.

Al Departamento de Ingeniería Agroindustrial, en especial el Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, por la oportunidad brindada en mi formación académica.

Al Dr. Joel Corrales García, por la dirección y apoyo durante el desarrollo de este trabajo de tesis.

A la Dra. Ma. del Rosario García Mateos, por su apoyo en la dirección de la investigación y revisión del documento de tesis.

Al Dr. Alejandro F. Barrientos Priego, por su asesoría y apoyo en la fase experimental de la investigación.

A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada, por su asesoría y apoyo para la culminación de este trabajo.

Al M.C. Emmanuel Ibarra Estrada por su apoyo en la fase de análisis por cromatografía de gases.

Al Dr. Nicolás Gutiérrez Rangel, por su apoyo en la colecta realizada en Zacatlán, Puebla.

Al Ing. Daniel G. Lino Martínez, por su colaboración en la colecta realizada en Atlixco, Puebla.

A Nallely R. Román Cortés y M. Beatriz Román Arce, por su apoyo en la fase de análisis de fitoquímicos y por su amistad.

A la Sra. Esperanza Salinas Banda, por su apoyo administrativo en el desarrollo de la investigación.

A todos mis compañeros de la MCyTA por su amistad y apoyo.

CARACTERIZACIÓN DE FRUTOS DE AGUACATE CRIOLLO (*Persea americana* var. *drymifolia*) EN TÉRMINOS DE SU CONTENIDO DE FITOQUÍMICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

CHARACTERIZATION OF NATIVE AVOCADO FRUITS (*Persea americana* var. *drymifolia*) BASED ON THEIR CONTENT OF PHYTOCHEMICALS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY

Martínez L., E.; Corrales G., J.; García M., M. R.; Barrientos P., A.; Ybarra M. C.

RESUMEN

El aguacate criollo se distribuye de forma natural en las tierras altas del centro de México, su principal uso es para autoconsumo y venta en mercados regionales. Los árboles de esta especie se están sustituyendo por variedades mejoradas o se han perdido por la destrucción de su hábitat silvestre; además se conoce poco de sus propiedades y usos alternativos, por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad nutracéutica en el fruto de 12 accesiones en madurez de consumo, colectadas en regiones donde el aguacate ha sido producido desde tiempos prehispánicos (Atlixco y Zacatlán, Puebla). El contenido de aceite fluctuó de 16.2 a 32.3 g 100 g^{-1} de pulpa y este mostró una proporción de los principales ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico y palmitoleico) en promedio 19 % menor comparado con la variedad Hass, debido a que en su composición se encuentran otros ácidos grasos insaturados que varían dependiendo de la accesión. El contenido de antocianinas en cáscara fluctuó de 0.06 a 5.49 mg g^{-1} de p. f. La actividad antioxidante fue alta en la cáscara (53.3 - 307.3 mMol ET g^{-1} peso fresco), seguido de la fracción hidrofílica de la pulpa (1.48 – 3.11 mMol ET g^{-1} p. f.) y por último en la fracción lipofílica de la pulpa (0.23 – 0.45 mMol ET g^{-1} p. f.). La actividad antioxidante en la cáscara se correlacionó con el contenido de antiocianinas. Estos resultados permiten afirmar que el consumo de aguacates criollos de color oscuro representa un importante aporte nutricional y nutracéutico.

Palabras clave: Aceite, ácidos grasos, antocianinas, ABTS, DPPH.

ABSTRACT

Native avocado spreads naturally in the highlands of central Mexico. Its main use is for home consumption and sale in regional markets. The trees of this species are being replaced by improved varieties or lost by destruction of their habitat; furthermore, there is little knowledge of the properties and alternative uses of their fruits. Therefore, the aim of this study was to evaluate the nutraceutical quality in ripe fruits of 12 accessions, collected in areas where avocado has been produced since pre-Hispanic times (Atlixco and Zacatlán, Puebla). Pulp oil content ranged from 16.2 to 32.3 g 100 g^{-1} and had a higher proportion of unsaturated fatty acids (oleic, linoleic and palmitoleic), on average 19% lower than Hass, because in its composition there are other unsaturated fatty acids that vary depending on the accession. The content of peel anthocyanins ranged from 0.06 to 5.49 mg g^{-1} fresh weight. Antioxidant activity was high in peel (53.3 - 307.3 mMol TE g^{-1} fresh weight), followed by the hydrophilic fraction of the pulp (1.48 - 3.11 mMol TE g^{-1} fresh weight) and finally in the lipophilic fraction of the pulp (0.23 to 0.45 mMol TE g^{-1} fresh weight). The antioxidant activity in peel correlated with the content of anthocyanins. These results confirm that dark native avocados represent an important nutritional and nutraceutical contribution to the human diet.

Keywords: Oil, fatty acids, anthocyanins, ABTS, DPPH.

CONTENIDO

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iii

LISTA DE CUADROS ix

LISTA DE FIGURAS xi

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 Justificación 3

1.2 Objetivos 4

2 MARCO TEÓRICO 6

2.1 Historia y origen del aguacate 6

2.2 Clasificación taxonómica 7

2.3 Descripción botánica 11

2.4 El aguacate criollo mexicano 12

2.5 Importancia mundial del aguacate 14

2.6 Importancia nacional del aguacate 15

2.7 Usos del aguacate 16

2.8 Calidad del aguacate 18

2.9 Composición nutrimental del aguacate 19
2.10 Ácidos grasos 22
2.11 Pigmentos en el fruto de aguacate 24
2.12 Antocianinas 27
2.13 Antioxidantes 29
3 MATERIALES Y MÉTODOS 32
3.1 Origen del material vegetal 32
3.2 Preparación de las muestras 33
3.3 Variables físicas 34
3.4 Variables químicas 35
3.5 Análisis estadístico 40
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 41
4.1 Tamaño 41
4.2 Peso 43
4.3 Parámetros del color 47
4.4 Contenido de aceite 51
4.5 Ácidos grasos 53
4.6 Antocianinas en la cáscara 58
4.7 Actividad antioxidante en la cáscara 61
4.8 Actividad antioxidante en la pulpa 63

4.9 Correlación 66

4.10 Análisis de componentes principales 71

5 CONCLUSIONES 75

6 BIBLIOGRAFÍA 77

7 ANEXOS 89

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características de las razas Antillana**,** Guatemalteca y Mexicana de aguacates. **..... 9**

Cuadro 2. Especificaciones de calibre y tolerancias para frutos de aguacate Hass para su comercialización en México. **..... 19**

Cuadro 3. Composición nutrimental de la porción comestible del aguacate. **... 20**

Cuadro 4. Características físicas del fruto de 11 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo colectados en zonas productoras del estado de Puebla, Méx. **..... 42**

Cuadro 5. Propiedades físicas del fruto de 11 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo, colectados en zonas productoras del estado de Puebla, Mex. **..... 44**

Cuadro 6. Parámetros de color de frutos de 11 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo colectados en zonas productoras del estado de Puebla, Mex. **..... 49**

Cuadro 7. Porcentaje de ácidos grasos en el aceite extraído de la pulpa de 12 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo, colectados en zonas productoras del estado de Puebla, México.**..... 54**

Cuadro 8. Actividad antioxidante (DPPH y ABTS) en la cáscara (exocarpio) de 12 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo, colectados en el estado de Puebla, Mex. **..... 62**

Cuadro 9. Actividad antioxidante (ABTS) en el mesocarpio (pulpa) de 12 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo, colectados en el estado de Puebla, Méx.**..... 65**

Cuadro 10. Coeficientes de Correlación de Pearson entre las variables del fruto de 12 accesiones de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia)*. **..... 69**

Cuadro 11. Coeficientes de Correlación de Pearson entre las variables de la cáscara del fruto de 12 accesiones de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia)*.**..... 70**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de una antocianina **27**

Figura 2. Árboles de aguacate criollo en Atlixco, Puebla. **33**

Figura 3. Contenido promedio de aceite en frutos de 12 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo, colectados en zonas productoras del estado de Puebla, Mex. y en aguacate de la variedad aguacate Hass. **52**

Figura 4. Contenido promedio de los principales ácidos grasos en el aceite de aguacates criollos cultivados en el estado de Puebla y en aceite de la variedad Hass. **55**

Figura 5. Composición de ácidos grasos en el aceite de aguacates criollos cultivados en el estado de Puebla, en aceite de la variedad Hass y en aceite de oliva. **57**

Figura 6. Antocianinas monoméricas en el exocarpio (cáscara) de 12 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo colectados en el estado de Puebla, Mex. **59**

Figura 7. Agrupación de 11 accesiones de aguacate criollo colectados en el estado de Puebla, basado en características físicas y fitoquímicas del fruto. **72**

1 INTRODUCCIÓN

El cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.) tiene una gran importancia económica en México, siendo el principal país productor, exportador y consumidor del mundo (FAO, 2013). Además, forma parte del centro de origen y en la actualidad cuenta con gran diversidad de tipos “criollos”, que se han ido diversificando a través del tiempo (Campos *et al.*, 2011a). Su principal uso es alimenticio, algunos lo degustan con todo y piel por su sabor aromatizante (Villanueva y Verti, 2007). En los huertos, los árboles de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*), se están sustituyendo por variedades mejoradas o híbridos de alta productividad; así también, se pierden por la destrucción de ecosistemas donde se encuentran en forma silvestre (López-López *et al.*, 1999; Ben-Ya’acov *et al.*, 1992).

El aguacate es un fruto de gran valor nutrimental. En la pulpa se pueden encontrar siete de los aminoácidos esenciales, además de vitaminas del complejo B, tocoferoles, vitamina C, vitamina K, minerales y fibra. De la composición media de ácidos grasos del aceite de este fruto, la mayor cantidad corresponde a ácidos grasos monoinsaturados (66-72 %), seguido de los saturados (16-22 %) y una considerable cantidad de polinsaturados con un promedio del 8 al 11 %. Esta proporción de ácidos grasos contribuye a un perfil

lipídico saludable en la sangre que ayuda a mantener la salud cardiovascular de los consumidores (Ortega, 2003; USDA, 2014).

Se han realizado estudios en los que se han identificado fitoquímicos en la pulpa como carotenoides, compuestos fenólicos y fitoesteroles, así como antocianinas en la cáscara del fruto del aguacate Hass y otras variedades comerciales (Prabha *et al.*, 1980; Cox *et al.*, 2004; Dreher y Davenport, 2013). Estos compuestos son importantes por su capacidad de captar los radicales libres presentes en las estructuras celulares causantes del estrés oxidativo, lo que les atribuye un efecto benéfico en la prevención de enfermedades como las cardiovasculares, circulatorias, cancerígenas y neurológicas (Heim *et al*., 2002; Katsube *et al*., 2003). Sin embargo, estos estudios se han realizado solamente en cultivares comerciales como Hass y no se ha analizado la presencia de estos metabolitos en aguacates criollos.

Por otro lado, en los últimos años ha crecido el interés por los antioxidantes naturales debido a los beneficios que pueden aportar a la salud del humano al combatir enfermedades que se han vuelto muy comunes en la sociedad. Por esta razón, es importante desarrollar investigaciones enfocadas a identificar y evaluar la efectividad de estos compuestos presentes en los frutos de muchas especies nativas del país.

El presente trabajo consistió en determinar el contenido de algunos fitoquímicos y la actividad antioxidante de algunas accesiones de aguacates criollos. Con ello se pretende contribuir a la revalorización de este recurso genético y a aportar información para generar otras alternativas de aprovechamiento y

consumo. También contribuye a mantener la costumbre que tiene la población rural de consumir estos frutos con todo y cáscara, lo cual habla indiscutiblemente de sus buenos hábitos de consumo, que son saludables y son parte de su identidad cultural.

1.1 Justificación

México es uno de los países con amplia diversidad de tipos de aguacate. Existen en el país al menos 20 especies diferentes relacionadas con éste fruto (Barrientos-Priego y López-López, 2000). De acuerdo con Bergh (1992), la gran variabilidad genética que se ha encontrado es debida a las diferentes condiciones ambientales presentes en el territorio nacional y a la naturaleza del aguacate, circunstancias que permiten maximizar el cruzamiento entre diversos tipos de aguacate. Estos recursos han estado desapareciendo muy rápido durante las últimas décadas, debido a diversos factores como el cambio en el uso del suelo (derribo de bosques para la apertura de nuevas áreas a la agricultura y la ganadería), utilización de la madera, plagas y enfermedades, sobrepastoreo de agostaderos, el avance de áreas urbanas, sequías e incendios (Ben-Ya'acov *et al.*, 1992; Bowman y Scora, 1992; de la Luz Sánchez-Pérez, 1999; Barrientos-Priego y López-López, 2000).

Así también, en las zonas donde se producen los aguacates criollos, principalmente en los estados de Michoacán, Estado de México, Morelos y Puebla, estos son considerados de menor valor comercial, por lo que se cotizan menos en grado en comparación a la variedad Hass, lo que los ha llevado a un

consumo local o regional. Por estos motivos, es importante generar investigación que contribuya a la revalorización de éstos materiales, a incrementar su demanda (principalmente en los mercados urbanos) y su valor comercial, dándole ventajas competitivas frente a otros cultivos.

Existen pocos reportes sobre las propiedades alimenticias y nutracéuticas de los aguacates criollos en relación a las variedades comerciales que han sido ampliamente investigadas; por lo que se desconocen sus cualidades y posibles usos que se les puede dar. El color obscuro de la piel en algunas accesiones criollas no estudiadas permite inferir en un alto contenido de algunos fitoquímicos, los cuales pueden poseer alta actividad antioxidante. México es poseedor de una inestimable riqueza en recursos genéticos de aguacate, los cuales deberían ser caracterizados y aprovechados de manera sustentable. Por lo anterior, se plantean los siguientes objetivos:

1.2 Objetivos

General

Evaluar el contenido de componentes antioxidantes en doce accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo con la finalidad de conocer su potencial nutracéutico.

Particulares

Realizar la caracterización física del fruto en madurez de consumo de accesiones de aguacate criollo (tamaño, peso y color).

Determinar el contenido de aceite (%) en la pulpa, así como el perfil de ácidos grasos saturados e insaturados por cromatografía de gases.

Evaluar por dos métodos (DPPH y ABTS) la actividad antioxidante de las fracciones hidrofílica y lipofílica de la pulpa del fruto de doce accesiones de aguacate criollo.

Evaluar el contenido de antocianinas y capacidad antioxidante en la cáscara del fruto de doce accesiones de aguacate criollo.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Historia y origen del aguacate

El aguacate (*Persea americana* Mill.) y otros miembros reconocidos del subgénero *Persea,* como *P. floccosa, P. nubigena y P. schiedeana*, se encuentran desde la parte central de México hasta gran parte de Centroamérica (Bergh y Ellstrand, 1986). Smith (1966) reportó que cotiledones de aguacate de aproximadamente 7 000 – 8 000 años fueron encontrados en cuevas de Coxcatlán, Puebla, apoyando la hipótesis de que México es centro de origen, lugar donde se dispersó hacia Norteamérica, Las Antillas y parte de Sudamérica. Esa amplia dispersión a través de las áreas de desarrollo de civilizaciones antiguas, se explica por la alta estima que los indígenas tenían por este fruto carnoso, tan nutritivo y de sabor único (de la Luz Sánchez-Pérez, 1999).

Su nombre se deriva de *ahuacatl*, palabra náhuatl que significa “testículos del árbol”. En Perú y otros países de Sudamérica, se le conoce como palta o palto que procede de la voz quichua palta. Mucho antes de la llegada de los españoles a América, el aguacate ya formaba parte de la dieta de los aztecas y de otros pueblos americanos. El aguacate impresionó a los españoles y en sus crónicas aparecen variadas descripciones sobre la forma del árbol, sus nombres nativos, su sabor y algunas de sus propiedades medicinales. En el

Códice Florentino se mencionan tres tipos de aguacate: aoacaquauitl, tlacacolaoacatl y quilaoacatl, delos cuales es probable que correspondan a las tres razas que actualmente se conocen. Los españoles lo llevaron de América, a Las Antillas, así como al Viejo Mundo. En España se adaptó, sobre todo, en Málaga, Murcia, Valencia y Cataluña. En 1833, Henry Perrine plantó variedades mexicanas de aguacate en Miami, después pasó a California donde sólo se cultivó en cantidad hasta 1871. En México, la ciudad de Atlixco, Puebla fue una de las poblaciones reconocidas por la gran diversidad y calidad de sus aguacates, de esta población se obtuvo el cultivar Fuerte, que fue la base de la industria aguacatera de California, USA (Mijares y López, 1998; Villanueva y Verti, 2007).

2.2 Clasificación taxonómica

La familia *Lauraceae* comprende alrededor de 2 200 especies que generalmente se encuentran en climas tropicales y subtropicales, entre ellas destaca el género *Persea,* que contiene alrededor de 85 especies, y la mayoría se encuentran desde el sur de los Estados Unidos de Norteamérica (*Persea borbonia*) hasta Chile (*Persea lingue*). El género está constituido por dos subgéneros: *Persea*, que contiene pocas especies estrechamente relacionadas entre sí; y *Eriodaphne*, bastante numeroso, variable y claramente diferenciado del primero principalmente por la pubescencia de la cara interior de los sépalos de la flor (Bergh y Ellstrand, 1986; Barrientos-Priego y López-López, 2000; van der Werff, 2002).

El aguacate (*Persea americana* Mill.) pertenece al subgénero *Persea* el cual también incluye las especies: *Persea nubigena* (aguacate de monte), *Persea steyermarkii* (aguacate de montaña), *Persea schiedeana* (chinini, chinene, chenene, yas, hib) y *Persea floccosa* (aguacate cimarrón). El género y la especie fueron descritos por Miller en su *Gardener´s Dictionary* en 1754 y 1768, respectivamente (Barrientos-Priego y López-López, 2000; van der Werff, 2002). Se acepta de manera general que este cultivo se divide en tres variedades o razas botánicas: mexicana (*P. americana* var. *drymifolia*), guatemalteca (*P. americana* var. *guatemalensis*) y antillana (*P. americana* var. *americana*) (Bergh, 1992; Bergh *et al.*, 1973). Las diferencias entre ellas radican principalmente en el tamaño y forma del fruto, textura y color de la cáscara, tamaño de la semilla y maduración del fruto (Cuadro 1). Los aguacates que se originaron en las zonas altas del Centro y Este de México generaron la raza Mexicana, los de las zonas altas de Guatemala generaron la raza Guatemalteca, y la raza Antillana provino de las primeras plantas encontradas en Las Antillas (Bergh, 1992; Lahav y Lavi, 2002). Recientemente se propuso una cuarta raza, *P. americana* var. *costarricensis*, que sólo se encuentra en las regiones de Costa Rica, su fruto es más pequeño que el de las razas Antillana y Guatemalteca, el color de su epidermis es parecida al de los frutos de la raza Antillana (verde claro) y su semilla se asemeja a los criollos guatemaltecos (Campos *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Características de las razas Antillana**,** Guatemalteca y Mexicana de aguacates.

Características	Razas		
	Antillana	Guatemalteca	Mexicana
Origen	Tierras bajas tropicales	Tierras altas tropicales	Tierras altas tropicales
Follaje	Sin olor	Sin olor	Con olor a anís
Estación de floración	Febrero a marzo	Marzo a abril	Enero a febrero
Estación de maduración	Mayo a septiembre	Septiembre a enero	Junio a octubre
Período de desarrollo	5 a 8 meses	10 a 15 meses	6 a 8 meses
Tamaño del fruto	0.5 a 2.3 kg	0.2 a 2.3 kg	Menos de 0.5 kg
Textura de la cáscara	Correoso-lisa	Leñosa-rugosa	Lisa
Contenido de aceite	Bajo	Mediano a alto	Mediano a alto
Resistencia al frio[1]			
Árboles jóvenes	-2 a -1° C	-3 a -2° C	-4 a -3° C
Árboles adultos	-4 a -1° C	-6 a -4° C	-8 a -4° C

[1]Las respuestas de los árboles al frío están influenciadas por la salud del árbol, el estado de crecimiento y las prácticas de cultivo. Fuente: Crane y Balerdi, 2012.

Las razas de aguacate tienen un genoma muy parecido (2n = 24) por lo que la hibridación entre ellas ocurre con facilidad y sus híbridos obtienen ventajas de adaptación climática, así como características agronómicas mejoradas (Bergh, 1992; de la Luz Sánchez-Pérez, 1999). El resultado de estas mezclas ha dado origen a una gran diversidad genética; decenas de miles de árboles silvestres provenientes de semilla existen actualmente bajo condiciones ecológicas muy variadas. La selección natural principalmente y la acción del hombre ha producido tipos adaptados a esas regiones. El resultado de estas fusiones,

producidas por medio de “polinización cruzada”, dieron origen a incontables variedades híbridas naturales indefinidas (Ben Ya´acov, 1992; Velásquez, 2006).

No ha quedado claramente definida la clasificación taxonómica infraespecífica de *Persea americana* Mill. Van der Weff (2002) desconoció todas estas variedades señalando que eran “razas cultivadas” de *P. americana* e incluyó a otras 10 especies o variedades. Un análisis filogenético basado en caracteres morfológicos (Campos Rojas *et al*., 2007) determinó que muchas de las especies reducidas a la sinonimia por Van der Weff merecían el estatus de especie y que las variedades o razas (mexicana y guatemalteca) debían reconocerse como especies distintas: Se requieren datos moleculares como los ITS (*Internal Transcribed Spacers*, por sus siglas en inglés) para validar la propuesta. Se han realizado estudios que muestran la presencia de algunos fitoquímicos (terpenoides y fenilpropanoides) en las hojas del aguacate, como sustancias de defensa contra varios herbívoros y patógenos (King y Knight, 1992; Sagrero-Nieves y Bartley, 1995; Rincón-Hernández y Espinosa-García, 2008). Estos compuestos se han usado como marcadores químicos para describir algunas variantes de *P. americana* (Wu *et al*., 2007).

2.3 Descripción botánica

La altura del aguacatero varía de 9.1 m a 19.8 m y se clasifica como un árbol de hojas perennes, aunque algunas variedades pierden sus hojas por un corto período de tiempo. La copa de los árboles puede variar de baja, densa y simétrica a erguida y asimétrica. Las hojas tienen una longitud de 7.6 a 40.1 cm y su forma es variable (elíptica, ovales o lanceoladas). Frecuentemente, son pubescentes y rojizas cuando están tiernas, pero se endurecen, son lisas, y de color verde oscuro cuando están completamente desarrolladas. Producen numerosas inflorescencias laterales (estructuras que sostienen a las flores) en una posición pseudoterminal. El eje central de las inflorescencias termina en una pequeña ramita. Las flores son perfectas, de color verde amarillento y poseen un diámetro de 1 a 1.3 cm (Crane y Balerdi, 2012).

El fruto es una baya que posee una semilla grande rodeada de la pulpa. La cubierta del fruto varía en textura y grosor. El color del fruto maduro puede ser verde, negro o rojizo, dependiendo de la variedad. Las formas van desde esféricas a piriformes, y el peso desde unos pocos gramos hasta poco más de dos kilos. Los frutos no maduran, generalmente, hasta que son recolectados o caen al suelo (Crane y Balerdi, 2012). El proceso de maduración puede durar de cinco a siete días a temperatura ambiente (Ozdemir y Tupuz, 2004).

2.4 El aguacate criollo mexicano

El taxón *Persea americana* var*. drymifolia* representa a las especies cultivadas de aguacate conocidos como criollos mexicanos (Campos *et al*., 2008). Se ha podido apreciar una estrecha relación entre las áreas geográficas de mayor diversidad genética, y las áreas donde desde la época precolombina han estado asentadas las más importantes etnias indígenas de México, que son las responsables de la conservación de estos recursos y donde el aguacate de la raza mexicana ha estado íntimamente ligado a su cultura (de la Luz Sánchez-Pérez, 1999).

En las áreas donde los aguacates criollos son nativos, prosperan a altitudes entre 950 a 2250 m; con una temperatura media anual de 13.5 a 20.5 °C donde predominan los ambientes templados y subtropicales, con una precipitación media anual de 650 a 2200 mm. El eje neovolcánico constituido por los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Estado de México, Morelos y Puebla, es el área de mayor diversidad dentro de la raza mexicana y muy probablemente el centro de origen de la misma (de la Luz Sánchez-Pérez, 1999; Campos *et al*., 2008).

Sus árboles alcanzan los 15 m de altura, de ramas ligeramente pubescentes; hojas de color verde oscuro intenso, aromáticas como su corteza y madera; frutos de 3 a 6 por racimo terminal, de 4 a 12 cm de longitud, de forma ovoide o ligeramente piriformes, exocarpio (cáscara) delgado, de color verde oscuro, café, negro o púrpura, mesocarpio (pulpa) con esencia a anís; semilla larga y ovada (Campos *et al.*, 2008).

Actualmente, el aprovechamiento de frutos de árboles silvestres y de traspatio, con propósitos de comercializarlos en mercados locales y regionales, significan un importante aporte a la economía familiar. Su principal uso es alimenticio, algunos lo degustan con todo y su piel por su sabor aromatizante (de la Luz Sánchez-Pérez, 1999; Villanueva y Verti, 2007; Rincón-Hernández *et al.*, 2011). De la semilla se extrae aceite de alta calidad, su madera es apreciada en la elaboración de artesanías, sus hojas se usan en la medicina tradicional y como fuente de compuestos para condimentar diversos platillos tradicionales. En la agricultura se emplea como portainjerto y en la obtención de nuevas variedades (Campos *et al.*, 2008; Rincón-Hernández *et al.*, 2011). La variedad criolla también es fuente de genes de resistencia a plagas y enfermedades para las variedades comerciales de aguacate (Sánchez-Pérez, 1999). Junto con *P. americana* var. *guatemalensis* son los progenitores del cultivar 'Hass', el más distribuido en el mundo (Fielder *et al*., 1998).

Los usos del aguacate criollo dependen en gran medida de las regiones productoras. Espíndola *et al.* (2011) mencionan que en los estados de Oaxaca y Guanajuato existen árboles de traspatio y en algunos casos dentro de los cultivos de maíz o como linderos de los terrenos; los frutos que se cosechan son principalmente usados para consumo familiar y las hojas son empleadas para condimento en diferentes guisados: En la población de Zacapala, Puebla, los productores han estado seleccionando los árboles que consideran de mejor calidad (por tamaño de fruto, sabor, vida de anaquel), así como árboles para

donación de semilla, por lo tanto en esta región el cultivo de las variedades criollas regionales es principalmente para venta.

2.5 Importancia mundial del aguacate

Los principales países que cultivan aguacate son, en orden de importancia, México, Chile, Indonesia, Estados Unidos, Colombia, Brasil y República Dominicana (FAO, 2012; Secretaría de Economía, 2011).

La producción mundial registró una tasa media de crecimiento anual de 3.95 % al alcanzar 3.8 millones de toneladas en 2009. Chile y República Dominicana registraron las tasas de crecimiento más dinámicas con 14 % y 4.9 %, respectivamente. México registró un crecimiento del 3.0 % en dicho periodo, siendo el mayor productor, ya que participó en 2009 con 32 % de la producción mundial (FAO, 2012; Secretaría de Economía, 2011).

En 2010, los principales países importadores de aguacate fueron: EUA (47.1 %), Francia (12.8 %), Japón (6.1 %) y Canadá (4.9 %), los cuales concentran 70.8 % de la importación total. Por otro lado, entre los principales países exportadores de aguacate se encuentra México, el cual participa con el 51.4 % del mercado, le siguen en menor medida Israel (11.6 %), Perú (9.4 %) y Sudáfrica (8.0 %). México exportó en 2010 alrededor del 33 % de su producción total, principalmente a EUA, Japón y Canadá (FAO, 2012; Secretaría de Economía, 2011).

2.6 Importancia nacional del aguacate

La superficie sembrada de aguacate en México alcanzó las 134 322 ha en 2010, después de un periodo de expansión que comenzó en 2004. En 2010, la superficie de riego representó 40.5 % del total, mientras que la de temporal 59.5 %. La superficie cosechada representó en 2009 el 28 % del total que se cultiva en el mundo, ocupando el primer lugar en este rubro. El rendimiento histórico de la producción de aguacate ha mostrado una tendencia creciente, registrando en el periodo 1980 - 2010 una cifra de 9.4 toneladas por ha, con una tasa media de crecimiento anual de 0.5 %. Cabe destacar que los rendimientos en la modalidad de riego son en promedio 25 % superiores a los de la modalidad de temporal (SIAP-SAGARPA, 2012; Secretaría de Economía, 2011).

En México, 28 entidades federativas cultivan aguacate, siendo Michoacán el principal estado productor con 950 mil toneladas en el año 2010, de un total nacional de 1.107 millones, lo que representó 85.9 % de la producción total. Otras entidades federativas que participaron en la producción de aguacate fueron: Jalisco (2.7 %), Morelos (2.4 %), Nayarit (2.3 %), Estado de México (1.9 %), Guerrero (1.1 %) y Yucatán (0.9 %), estas siete entidades aportaron en conjunto 97.3 % de la producción nacional (SIAP SAGARPA, 2012; Secretaría de Economía, 2011).

Es importante mencionar que en México se tiene un consumo per cápita de aproximadamente 10 kg, lo que posiciona a nuestro país en el primer lugar a nivel mundial (Secretaría de Economía, 2011).

2.7 Usos del aguacate

El sabor, textura y propiedades alimenticias del fruto del aguacate han cautivado a innumerables países que lo han adoptado, como Francia, y otros tan lejanos como Japón y más recientemente Rusia. El aprovechamiento del árbol del aguacate es integral, ya que su madera es de buena calidad y en zonas rurales, particularmente mexicanas, se le utiliza para la elaboración de yugos y diversos productos artesanales. La industria también obtiene beneficios del aguacate, pues se le utiliza para obtener aceites, lociones, jabones, cremas y champús para el cabello (Velásquez, 2006).

Existe una variedad de usos del aguacate, lo cual depende de la población local de referencia. En Guatemala y México se consume principalmente en fresco, aunque en México es un ingrediente primordial en varios platillos regionales, como lo es el guacamole, puré de la pulpa al que se le adicionan otros ingredientes dependiendo de la región. En Brasil y Cuba el aguacate de la raza antillana, por su sabor dulce, se consume en licuados y batidos mezclados con azúcar y crema ácida (Knight, 2002; Campos *et al.*, 2008).

El fruto es muy apreciado en la gastronomía mexicana, especialmente por su sabor y sus propiedades alimenticias. Su gran virtud consiste en que no necesita de ningún condimento, aunque admita a muchos, ya sea para intensificar su sabor natural o para crear otros nuevos. El limón es la pareja ideal del aguacate, le sirve para conservar sus propiedades nutritivas y su tonalidad una vez cortado al retardar su oxidación. Pero admite por igual ser bañado por una fuerte vinagreta, si forma parte de la ensalada, o que licuen su

pulpa hasta convertirlo en crema para una sopa fría. También es un buen complemento en las carnes, se incluye en platillos de mariscos y pescado; con la carne roja o el pollo, resalta el sabor de la sazón mexicana. Tampoco puede faltar en el menú de los postres, ya sea en forma de exótico *mousse* de aguacate o como nieve. La gastronomía mexicana aprovecha hasta las hojas del aguacate para darle sazón a los frijoles o las salsas o para envolver los carneros (mixiotes) antes de arroparlos en las hojas de maguey para su lenta cocción en el horno de tierra (Villanueva y Verti, 2007).

Desde antes de la llegada de los españoles a América, se ha transmitido el uso medicinal del aguacate, como conocimiento empírico a través de los años formando parte de la medicina tradicional mexicana. Ciertas variedades de aguacate, si se les ingiere con cáscara, poseen propiedades antirraquíticas y un alto poder vermífugo. El té preparado con hojas y cáscaras de aguacate también es usado para combatir los cólicos menstruales. El aceite que se extrae del hueso o semilla se usa para aplicarlo en el cabello con el fin de evitar su caída y también se puede macerar en alcohol para untarlo en las piernas y aliviar el reumatismo. Las hojas, en infusión o colocándolas directamente en la cabeza, también son empleadas para curar la fiebre y la migraña (Villanueva y Verti, 2007).

2.8 Calidad del aguacate

El aguacate debe cumplir con ciertos requerimientos que exige el mercado internacional y un factor importante es determinar el momento óptimo de cosecha. De acuerdo con la norma CODEX STAN 197-1995, los aguacates al momento de la cosecha deberán haber alcanzado una fase de desarrollo fisiológico que asegure la finalización del proceso de maduración, de conformidad con los criterios peculiares de la variedad y la zona en que se producen. El fruto maduro no deberá tener sabor amargo. El desarrollo y condición de los aguacates deberán ser tales que les permitan: Soportar el transporte y la manipulación y llegar en estado satisfactorio al lugar de destino.

Las fechas, pesos y tamaños específicos usados para determinar la madurez dependen de la variedad. En lugares como California se utilizan indicadores que se basan en el contenido mínimo de aceite y/o de materia seca (Crane y Balerdi, 2012). La Normalización Internacional de Frutas y Hortalizas – Aguacates o Paltas de la OCDE (2004) y la Norma CODEX STAN 197-1995 coindicen en que el aguacate debe tener un mínimo de materia seca antes de ser recolectado de acuerdo a la variedad (21 % para la variedad Hass; 20 % para las variedades Fuerte, Pinkerton, Reed y Edranol; y 19 % para las otras variedades), con la excepción de las variedades antillanas para las cuales se acepta un contenido en materia seca inferior.

Para el caso de México, se cuenta con la norma mexicana NMX-FF-016-SCFI-2006 que establece las especificaciones de calidad que el aguacate variedad Hass debe cumplir, para ser consumido en estado fresco. En esta norma los

frutos se clasifican de acuerdo a su calidad en Suprema, Clase I y Clase II. La clase III no es apta para consumo humano aunque si para su uso industrial. Así también, se especifican los calibres y tolerancias permitidas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Especificaciones de calibre y tolerancias para frutos de aguacate Hass para su comercialización en México.

Calibre	Peso unitario (g)
Súper	Mayor de 265
Extra	211 - 265
Clase I	171 - 210
Mediano	136 - 170
Comercial	85 - 135
Canica	Menor de 85

Tolerancia	Clasificación		
	Suprema	Clase I	Clase II
Por grado de clasificación	5 %	10 %	10 %
Por calibre	5 %	5 %	5 %

Norma mexicana NMX-FF-016-SCFI-2006.

2.9 Composición nutrimental del aguacate

El contenido nutricional de la pulpa de aguacate depende de su ecotipo (subtropical o tropical), del cultivar, del grado de madurez del fruto y de las condiciones de cultivo (Knight, 2002). Es un alimento que puede ser consumido en fresco, garantizando la ingesta total de sus nutrientes, lo cual evita la pérdida de vitaminas y la desnaturalización de las proteínas, alteración que habitualmente sufren la mayoría de los alimentos durante su procesamiento y

cocción (Ortega, 2003). Una composición media de los principales nutrientes encontrados en la pulpa se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición nutrimental de la porción comestible del aguacate.

Nutriente	Unidad	Contenido (100 g de p. f.)*
Agua	g	73.23
Energía	kcal	160
Proteína	g	2
Lípidos totales	g	14.66
Ácidos grasos saturados	g	2.126
Ácidos grasos monoinsaturados	g	9.799
Ácidos grasos polinsaturados	g	1.816
Colesterol	mg	0
Carbohidratos totales	g	9.19
Fibra	g	6.7
Minerales		
Calcio	mg	12
Hierro	mg	0.55
Magnesio	mg	29
Fosforo	mg	52
Potasio	mg	485
Sodio	mg	7
Zinc	mg	0.64
Vitaminas		
Vitamina C	mg	10
Tiamina	mg	0.067
Riboflavina	mg	0.13
Niacina	mg	1.738
Vitamina B6	mg	0.257
Folato	µg	81
Vitamina A	µg	7
Vitamina E	mg	2.07
Vitamina K	µg	21

*p. f. = Peso fresco. Fuente: Elaboración propia con datos de USDA, 2014.

El contenido de ácidos grasos en el aguacate varía según el cultivar, entre otros factores, siendo el ácido oleico el más abundante, seguido de los ácidos palmítico, linoleico y palmitoleico, aunque este último no siempre se encuentra presente. De la composición media de ácidos grasos presentes en el fruto de aguacate, se encuentra en mayor cantidad a los monoinsaturados (66 -72 %), seguido de los saturados (16-22 %) y una considerable cantidad de polinsaturados con un intervalo del 8 al 11 %, siendo similar al aceite de oliva, lo que lo convierte en un excelente componente de la "dieta mediterránea" (Knight, 2002; Ortega, 2003; Pérez-Rosales *et al.*, 2005).

Los lípidos presentes en el aguacate son sintetizados únicamente durante el crecimiento y la maduración del fruto, una vez cosechados su síntesis es nula. El contenido de estos metabolitos es afectado por diversos factores como la variedad, la posición del fruto en el árbol, ubicación dentro del fruto, grado de madurez, prácticas culturales, condiciones ambientales y manejo poscosecha (Campos *et al.*, 2011b). El contenido de aceite es alto y aumenta con el retraso de la cosecha en los aguacates cultivados en climas subtropicales frescos, llegando de 25 a 30 % en los frutos de los cultivares 'Hass' y 'Fuerte' (Kaiser y Wolstenholme, 1994).

La proteína de los frutos contiene siete de los aminoácidos esenciales, no sintetizados por el organismo, por lo tanto deben de ser incluidos en la dieta. En la pulpa de aguacate se encuentran presentes prácticamente todas las vitaminas, tanto liposolubles como hidrosolubles, cubriendo un buen porcentaje de la ingesta diaria recomendada. Cabe mencionar que las vitaminas actúan en

el organismo como catalizadores, acelerando o retardando las reacciones que intervienen y se requieren pequeñas cantidades en la dieta diaria (Ortega, 2003). La vitamina E, también llamada tocoferol es un potente antioxidante liposoluble que protege la integridad de las membranas celulares. Se le encuentra en fuentes de origen vegetal ricas en aceite, como es el caso del aguacate. La ausencia de la concentración requerida de vitamina E en el organismo, provoca que la presencia de los radicales libres oxiden los ácidos grasos de la doble capa lipídica de la membrana celular, afectando su estructura (Biruete *et al*., 2009).

2.10 Ácidos grasos

Las grasas (sólidas) o aceites (líquidos) más comunes son los glicerolípidos, los cuales se componen fundamentalmente de triacilglicéridos (TG). Los TG son ácidos grasos unidos a una glicerina (alcohol) a través de sus tres grupos hidroxilo. Los triacilglicéridos constituyen la familia más abundante de lípidos y los principales componentes de los lípidos de reserva de las células animales y vegetales (Lehninger, 2009).

Los ácidos grasos constituyen los principales componentes de los lípidos y son necesarios en la nutrición humana como fuente de energía y para cumplir con funciones de carácter metabólico y/o estructural (FAO, 2012). Poseen una cadena hidrocarbonada larga con un grupo carboxilo terminal. La cadena hidrocarbonada puede ser saturada, como el ácido palmítico (16:0), o puede tener uno o más dobles enlaces, como ocurre en el ácido oleico (18:1); existen

escasos ácidos grasos con enlaces triples. Los ácidos grasos difieren entre sí, en primer lugar, por la longitud de su cadena, y también por el número y la posición de sus dobles enlaces (Lehninger, 2009).

Los ácidos grasos más comunes han sido subdivididos en tres grupos según el grado de insaturación: los ácidos grasos saturados no poseen insaturaciones (dobles enlaces), los ácidos grasos monoinsaturados poseen un doble enlace y los ácidos grasos poliinsaturados (AGP) poseen dos o más insaturaciones. Estos ácidos grasos poseen por regla general un número par de átomos de carbono y estructuras no ramificadas. De acuerdo a la posición del primer doble enlace de la cadena, denominado *omega* (Ω), contando a partir del extremo metilo, existen tres familias de AGP: Ω-3, Ω-6 y Ω-9. Algunos ácidos grasos se clasifican como “ácidos grasos esenciales (AGE)”, porque no pueden ser sintetizados por el cuerpo humano y además son necesarios para funciones vitales, éstos son los de las familias Ω-3 y Ω6 (Castro, 2002; FAO, 2012).

Los dobles enlaces de ácidos grasos insaturados que existen en la naturaleza son a menudo de orientación *cis*. Una configuración *cis* significa que los átomos de hidrógeno unidos a los dobles enlaces se encuentran en el mismo plano. Si los átomos de hidrógeno se encuentran en los planos opuestos, la configuración se denomina *trans* (FAO, 2012). Los ácidos grasos *trans* (AGT) afectan negativamente las funciones celulares y su consumo constituye un riesgo para la salud, particularmente en el desarrollo de las enfermedades cardiovaculares (Valenzuela, 2008).

Los ácidos grasos polinsaturados poseen un efecto protector en el ser humano por disminuir la viscosidad de la sangre, reduciendo así el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. Estos metabolitos se han vinculado con los efectos antiarrítmicos, antitrombóticos, antiescleróticos, antidepresivos y pueden mejorar el perfil lipídico en pacientes con hipercolesterolemia moderada (López-Ledesma *et al.*, 1996; Biruete *et al*., 2009).

El aceite de aguacate presenta el mismo índice de aterogenicidad (potencial de obstrucción de las arterias) que el de los aceites de maíz y oliva, lo que significa que hay una menor probabilidad de sufrir enfermedades cardiovasculares (Kritchevsky *et al.*, 2003). El aceite de este fruto contiene al ácido oleico como principal componente, el cual favorece el incremento en la concentración de las lipoproteínas de alta densidad o colesterol “bueno” (HDL) y evita la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad o colesterol “malo” (LDL) en la sangre humana. Por el elevado contenido de ácidos grasos monoinsaturados y la densidad de nutrientes en el aguacate, este fruto debe ser considerado como parte de una estrategia dietética para proteger contra el desarrollo de la cardiopatía coronaria (Kritchevsky *et al.*, 2003; Pérez-Rosales *et al*., 2005).

2.11 Pigmentos en el fruto de aguacate

El color juega un papel importante un papel importante en los alimentos, tanto por su función estética, considerado un factor para la evaluación de la calidad (Bridle y Timberlake, 1997). Los fitoquímicos responsables del color, percibidos por los seres humanos se conocen generalmente como pigmentos. Las

principales clases de pigmentos de la planta son las antocianinas, carotenoides, betalainas y la clorofila (Tanaka *et al.*, 2008). Los frutos de aguacates contienen cantidades considerables de pigmentos tales como clorofilas, carotenoides y antocianinas (Cox *et al*., 2004; Gross *et al*., 1972).

De acuerdo con Ashton *et al.* (2006), el cambio más importante durante la maduración del aguacate Hass está relacionado con la concentración de pigmentos que se presentan en la cáscara, en particular el contenido de las antocianinas se incrementa en esa etapa. Este cambio está altamente correlacionado con el cambio de color en la cáscara y con la firmeza del fruto. El cambio de color en la superficie de los frutos de verde a púrpura, y después a negro, resulta de una disminución inicial en el contenido de clorofilas, seguido por un aumento de los niveles de antocianinas, en particular cianidina 3-O-glucósido. Se ha encontrado que la concentración de este pigmento aumenta significativamente a medida que la piel cambia de color (púrpura) y la fruta se suaviza (Cox *et al.*, 2004; Prabha *et al.*, 1980).

El tipo y concentración de pigmentos en el fruto está asociado, entre otros factores, al cultivar, estado de madurez, temperatura de almacenamiento poscosecha y al tipo de tejido. Ashton *et al*. (2006), identificaron carotenoides y clorofilas en la piel, en la pulpa y en el aceite de la variedad Hass, principalmente luteína, α-caroteno, β-caroteno, neoxantina, violaxanthina, zeaxantina, anteraxantina, clorofilas (a y b) y feofitinas (a y b), pero las concentraciones más altas de todos los pigmentos se han identificado en la piel. Los autores reportaron que la concentración de carotenoides en la piel y en la

pulpa se reduce de forma aproximadamente exponencial a medida que este madura una vez cosechado el fruto, mientras que en la piel el contenido de clorofilas totales se reduce durante la maduración (Ashton *et al*., 2006). Gross *et al.* (1973) reportaron un contenido de 40 µg g^{-1} de p. f. de luteína en la piel de frutos del cultivar Nabal, mientras que en la pulpa se encontró una concentración 50 % menor. Por otro lado, Cox *et al.* (2004) mencionan que la temperatura de maduración tiene un efecto de correlación positiva con la concentración de antocianinas (cianidina 3-O-glucósido) encontradas en la cáscara del aguacate Hass.

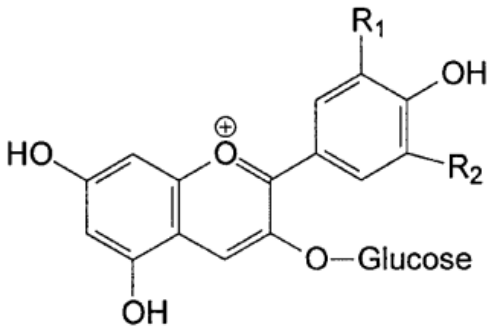
La presencia de fitoquímicos como fenoles, especialmente los flavonoides y antocianinas, muestran gran capacidad para captar radicales libres, éstos producen el estrés oxidativo, atribuyéndoles un efecto beneficioso en la prevención de enfermedades como las cardiovasculares, circulatorias, cancerígenas y neurológicas (Katsube *et al.*, 2003; Heim *et al*., 2002; Harborne y Williams, 2000). También los carotenoides son considerados benéficos en la prevención de ciertos tipos de cáncer y enfermedades de los ojos (Johnson, 2002).

Debido a que el aguacate es un fruto con un alto contenido de lípidos, en la pulpa se encuentran también pigmentos de naturaleza lipofílica e hidrofílica, por lo que se requieren métodos específicos para su extracción y cuantificación. Las antocianinas son solubles en agua (hidrofílicas) mientras que los carotenoides y las clorofilas son solubles en disolventes orgánicos no polares (lipofílicos) (Bridle y Timberlake, 1997; Johnson, 2002). Por esta razón, una

opción para la extracción de estos pigmentos es utilizar solventes de diferente polaridad dependiendo de los pigmentos que se quieran obtener.

2.12 Antocianinas

Los flavonoides son derivados del ácido shiquímico, con una estructura básica de C_6-C_3-C_6, están ampliamente distribuidos entre las plantas terrestres, son metabolitos secundarios ubicados en el amplio grupo de los compuestos fenólicos. Dependiendo de sus estructuras, los flavonoides se clasifican en varios subgrupos, siendo los principales las chalconas, flavonas, flavonoles y antocianinas. Las diferencias estructurales (localización de grupos hidroxilo, metilo y acilo, así como algunos monosacáridos) de los flavonoides dan como resultado diversas estructuras (Tanaka *et al*., 2008). Las antocianinas son glucósidos con un esqueleto básico de una aglicona antocianidina C_6-C_3-C_6 (Figura 1).



Cianidina-3-glucósido: R1 = OH y R2 = H

Figura 1. Estructura química de una antocianina

Fuente: Clifford, 2000.

Estos pigmentos, además de conferir los colores a algunas plantas, cumplen con otras funciones de defensa y ecológica, como la protección contra la radiación ultravioleta UV-B, el ataque de insectos y herbívoros y la invasión microbiana (Harborne y Williams, 2000).

Las antocianinas son un grupo de pigmentos hidrosolubles en las plantas y se encuentran especialmente presentes en las angiospermas o plantas con flores. Estos fitoquímicos están particularmente asociadas con las frutas de colores principalmente rojos, pero también se localizan en algunas raíces, tubérculos, bulbos, legumbres y cereales (Bridle y Timberlake, 1997). En los tejidos vegetales, las antocianinas producen los colores azules, púrpuras, rojos y tonalidades intermedias, e incluso pueden aparecer en un color “negro”. Su tonalidad y estructura dependen del pH y la posición de los grupos –OH en los anillos de su estructura y de la presencia de otros pigmentos (Clifford, 2000).

Los flavonoides, incluyendo a las antocianinas, han demostrado capacidad para neutralizar diversas especies antioxidantes (anión superóxido, radical hidroxilo o radicales peroxilo) (Harborne y Williams, 2000). Existen evidencias de las propiedades terapéuticas de estos metabolitos en el organismo humano, como su uso en el tratamiento de diversos desórdenes (circulatorios y enfermedades inflamatorias) (Bridle y Timberlake, 1997).

Las antocianinas desarrollan transformaciones estructurales reversibles debido a los cambios del pH, manifestando diferentes máximos de absorción en su análisis espectral (visible). La forma estructural del oxonio coloreado predomina a pH 1.0 y la forma hemicetal (incolora) se observa a pH 4,5. El método del pH

diferencial para la cuantificación de antocianinas se basa en esta reacción y permite medir el total de antocianinas monoméricas de una manera rápida (Del Carpio *et al*., 2009).

2.13 Antioxidantes

Un nutracéutico se define como un alimento, o parte de un alimento, capaz de proporcionar beneficios a la salud, incluidos la prevención y el tratamiento de enfermedades (Astiasarán y Martínez, 2003).

Un antioxidante se define como cualquier sustancia que cuando está presente en concentraciones bajas, en comparación con las del sustrato oxidable, retrasa significativamente o inhibe la oxidación de dicho sustrato (Gutteridge, 1994). Los antioxidantes son considerados nutracéuticos importantes por los muchos beneficios que generan en la salud (Sharma y Bhat, 2009).

El metabolismo oxidativo es esencial para la supervivencia de las células. Un efecto secundario de esta dependencia, es la producción de radicales libres y otras especies reactivas de oxígeno que causan cambios oxidativos en la célula. Los mecanismos de defensa contra los efectos de la oxidación excesiva son proporcionados por la acción de varios antioxidantes naturales que se encuentran en los vegetales. El estrés oxidativo en humanos surge de un desequilibrio en el estado antioxidante (especies reactivas de oxígeno frente a los mecanismos de defensa y de reparación). Entre las defensas endógenas se encuentran enzimas tales como la superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa y otros metabolitos como vitamina E, ácido úrico y albúminas

séricas. Además de estas defensas, el consumo de antioxidantes en la dieta también es importante. La oxidación también puede afectar a los alimentos, donde ésta es una de las principales causas su deterioro químico, derivando en rancidez y/o degradación de su calidad nutricional, color, sabor, textura e inocuidad (Antolovich *et al*., 2002).

Para que se pueda llevar a cabo una reacción de oxidación se requieren un sustrato, un oxidante y un iniciador; la medición de los productos intermedios o finales pueden ser utilizados para evaluar la actividad antioxidante. Se han desarrollado estrategias para evaluar la actividad antioxidante que implican la generación de alguna especie de radical libre y la medición directa de su inhibición debido a la adición de antioxidantes. La detección se ha basado en la fluorescencia, quimioluminiscencia, la absorción de oxígeno y la absorbancia del producto final (Antolovich *et al*., 2002).

Entre los métodos químicos utilizados para determinar la capacidad antioxidante se encuentran el ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-ethilbenzotiazolina-6-sulfónico) y DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo). El radical ABTS es uno de los más rápidos, originando resultados reproducibles y coherentes. Además, el ABTS presenta importantes ventajas; muestra varios máximos de absorción y una buena solubilidad, permitiendo el ensayo de compuestos tanto de naturaleza lipofílica como hidrofílica. La absorbancia se mide a 734 nm, cercano a la región del infrarrojo, lo que minimiza la interferencia de otros compuestos absorbentes y de la turbidez de la muestra. El radical DPPH absorbe a 517 nm por lo que la actividad antioxidante puede determinarse

mediante el seguimiento de la disminución de la absorbancia en esta longitud de onda. Es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, siendo un método simple y rápido (Kuskoski *et al*., 2005).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Origen del material vegetal

Se colectaron aleatoriamente los frutos sanos de 12 accesiones de aguacate criollo; principalmente de cáscara delgada, con un color obscuro y un olor similar al anís (Figura 2). Se realizó en madurez de fisiológica (momento en que el fruto alcanza su máximo tamaño y mínima tasa de respiración para asegurar la totalidad del proceso de maduración. OCDE, 2004), siguiendo los criterios visuales de los productores locales.

Las accesiones Atlixco 1 al 5, Axocopan 1 y Axocopan 2 procedieron de la región de Atlixco, Puebla, que se ubica entre las coordenadas geográficas 18° 48’ - 19° 00’ LN y 98° 19’ – 98° 36’ LO, con un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura entre 10 – 20 °C, precipitación entre 900 – 1300 mm y suelo predominantemente fluvisol (INEGI, 2009a). Las accesiones Hueyapan 1 y Hueyapan 2, Tlalixtlipa 1 y Tlalixtlipa 2 fueron colectados en la región de Zacatlán, Puebla, que se ubica entre las coordenadas geográficas 19° 50’ – 20° 06’ LN y 97° 51’ – 98° 11’ LO, con un clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano, temperatura entre 12 – 20 °C, precipitación entre 700 – 2100 mm y suelo predominantemente andosol (INEGI, 2009b). La

accesión lonjas fue donada por la fundación Salvador Sánchez Colín ubicada en Coatepec Harinas, Estado de México, al que solamente se le evaluaron las variables fitoquímicas. En el anexo A-1 se muestra el aspecto visual de estas accesiones.

Figura 2. Árboles de aguacate criollo en Atlixco, Puebla.

3.2 Preparación de las muestras

Los frutos fueron trasladados al laboratorio de postcosecha del Departamento de Ingeniería Agroindustrial el mismo día de la cosecha, donde se conservaron a temperatura ambiente hasta que alcanzaron la madurez de consumo (momento en que adquieren una consistencia blanda y se puedan consumir sin tener un sabor amargo y/o textura elástica, OCDE, 2004). La madurez de consumo ocurrió aproximadamente siete días después de cosecharlos. Los

frutos se lavaron cuidadosamente para eliminar residuos de materia orgánica e impurezas. Después de medir las características físicas de los frutos enteros (peso, color y tamaño), en seguida se procedió a retirar la cáscara con la ayuda de un cuchillo tratando de eliminar en lo posible los residuos de pulpa y luego se tomó por separado el peso de la pulpa, cáscara y hueso y finalmente se midió el color de la pulpa.

Para llevar a cabo los análisis de compuestos fitoquímicos (variables químicas) y potencial nutracéutico, las muestras de la cáscara y la pulpa de cada accesión se congelaron por inmersión en nitrógeno líquido (esto para evitar el daño por frio que podría causar una congelación lenta) y a continuación se liofilizaron (Liofilizador LABCONCO modelo Free Zone 4.5, USA.) aproximadamente durante 24 h (vacío: 0.014 milibares; temperatura del colector: -51 °C). Las muestras liofilizadas se conservaron a temperatura ambiente en bolsas de sello hermético Ziploc® para evitar el contacto con el oxígeno, se guardaron en un lugar fresco y sin exposición directa a la luz solar hasta el momento de su análisis.

3.3 Variables físicas

Tamaño e índice de forma. Se determinaron las variables: longitud y diámetro ecuatorial del fruto (cm) con la ayuda de un pie de rey. Con los datos obtenidos se calculó el índice de forma (relación longitud / diámetro ecuatorial), cuyos resultados se expresaron numérica y adimensionalmente.

Peso. Para registrar los valores de peso (g) se utilizó una balanza digital (marca AE, modelo ADP 2100L, precisión=10 mg, USA). Se tomaron datos del peso total del fruto, así como de sus componentes por separado (pulpa, cáscara y hueso). Los componentes del fruto se reportaron en porcentaje. Así también, se reportó el porcentaje de humedad que se obtuvo por diferencia de peso después del proceso de liofilización de las muestras. El rendimiento (porción comestible) se obtuvo mediante la relación: (Peso de la pulpa + peso de la cáscara) / peso del hueso.

Color. El color se determinó con un colorímetro Hunter Lab (modelo MiniScan XE Plus, USA). La lectura se tomó en la parte ecuatorial de la cáscara y en la parte central del mesocarpio (pulpa). El equipo reportó los valores de L*(luminosidad), a* (rojo+, verde-) y b* (amarillo+, azul-), los dos últimos se utilizaron para calcular el índice de saturación de color (C) y el ángulo de tono (h) de acuerdo a las siguientes fórmulas propuestas por McGuire (1992):

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$h \text{ (grados)} = \arctan (b^*/a^*)$$

3.4 Variables químicas

Lípidos totales. Para cuantificar los lípidos totales se usó la metodología propuesta por Metcalfe *et al.* (1966) con modificaciones. Una muestra de 20 g de pulpa de aguacate se colocó en un matraz Erlenmeyer, se le agregaron 30 mL de cloroformo y 30 mL de metanol, se agitó la mezcla en un vortex durante

cinco min y se dejó reposar durante 24 h. La mezcla se filtró para separar la pulpa, la fase inferior no polar fue recuperada con micropipeta y colocada en un rotaevaporador para eliminar el cloroformo y así obtener la mezcla de aceites. El contenido de lípidos se obtuvo por diferencia de peso.

Esterificación de ácidos grasos. Se siguió la metodología propuesta por Metcalfe *et al.* (1966) con modificaciones. A una muestra de 100 µL de aceite obtenida previamente, se le agregaron 0.5 mL de trifluoruro de boro, la mezcla se colocó en baño maría por 20 min a 60 °C, y después se agregaron 1 ml de agua destilada y 1 ml de hexano. La mezcla se agitó y se dejó reposar hasta la separación de dos fases, se extrajo la fase superior no polar (hexano) con los ácidos grasos esterificados con micropipeta, se secó el extracto con sulfato de sodio anhidro para eliminar residuos de humedad, se depositó en un vial de cromatografía de gases de 1.5 mL y se almacenó a -20 °C para su posterior inyección en el cromatógrafo de gases.

Identificación y cuantificación de ácidos grasos. Estas determinaciones se llevaron a cabo en un cromatógrafo de gases Agilent Technologies® 7890a, con una columna Agilent HP-5MS de 30 m de longitud x 250 µm de diámetro interno y espesor de película de 0.25 µm, acoplado a un espectrómetro de masas Agilent Technologies® 5975C, USA.

El volumen de inyección consistió en 1 µL de muestra, se empleó helio como fase móvil con un flujo de 1.6 mL min^{-1}. La temperatura del horno del

cromatógrafo fue de 100 °C, la temperatura del detector (MSD) de 250 °C, temperatura del cuadrupolo de 150 °C. La primera rampa de calentamiento fue de 100 a 170 °C con un incremento de 10 °C min^{-1}, la segunda rampa de calentamiento fue de 170 a 280 °C con un incremento de 10 °C min^{-1} y el tiempo total de la elusión fue de 33 min. La composición de ácidos grasos fue reportada en porcentaje de área bajo la curva.

Antocianinas en la cáscara. Se utilizó el método espectrofotométrico de diferencial de pH descrito por Giusti y Wrolstad (2001). Se pesó 1 g de pulpa liofilizada, se le agregaron 10 mL de metanol al 80 % (V/V) y se sonicó durante 20 min en un sonicador (Cole-Parmer, modelo 08892-21, USA.), posteriormente se dejó reposar en la oscuridad y a temperatura ambiente durante 22 h, finalmente se filtró para separar el residuo vegetal del extracto metanólico para su análisis. Se utilizaron dos sistemas reguladores de pH: ácido clorhídrico/cloruro de potasio de pH 1.0 (0.025 M) y ácido acético/acetato de sodio de pH 4.5 (0.4 M). A 0.2 mL de una muestra diluida (que permitió obtener una lectura de absorbancia entre 0.1 y 1.2 a una longitud de onda de 510 nm) se añadieron 1.8 mL de la correspondiente disolución reguladora, se midió la absorbancia frente a un blanco (la solución reguladora sin la muestra) a 510 y 700 nm. Se calculó la absorbancia final a partir de:

$$A = (A_{510\,nm} - A_{700\,nm})_{pH\,1.0} - (A_{510\,nm} - A_{700\,nm})_{pH\,4.5}$$

Para calcular la concentración de antocianinas en la muestra, se usó la siguiente fórmula:

$$\text{Antocianinas monoméricas (mg/100 g)} = \frac{A\ x\ PM\ x\ FD\ x\ 100}{\varepsilon\ x\ 1}$$

donde:

A = Absorbancia

PM = Peso molecular (449.2)

FD = Factor de dilución

ε = Absortividad molar (26,900)

La concentración de pigmentos monoméricos en el extracto se expresó en equivalentes de cianidina-3-glucósido.

Capacidad antioxidante. Esta variable se evaluó en la pulpa y en la cáscara de cada fruto siguiendo una metodología particular de acuerdo a lo siguiente. Se pesó 1 g de cáscara liofilizada, se le agregaron 10 mL de metanol al 80 % (V/V) y se sonicó (sonicador Cole-Parmer, modelo 08892-21, USA.) durante 20 min en un, posteriormente se dejó reposar en la oscuridad y a temperatura ambiente durante 22 h, finalmente se filtró para separar el residuo vegetal del extracto metanólico para su análisis.

Se pesó 1 g de pulpa, se le agregaron 5 mL de metanol al 80 % (V/V) y 5 mL de hexano. A la mezcla se le aplicó el mismo tratamiento que a la cáscara, mencionada en el párrafo anterior. Se separó el extracto orgánico del residuo por filtración. Con una micropipeta se separó la fase hexánica (lipofílica) de la metanólica (hidrofílica) para la medición de la actividad antioxidante de ambas.

La actividad antioxidante de la cáscara se evaluó por dos métodos espectrofotométricos: el método del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo; Sigma-Aldrich) y el método de ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulpónico); Sigma-Aldrich). En el caso de la pulpa se midió únicamente por ABTS en las dos fracciones obtenidas (lipofílica e hidrofílica).

El método DPPH se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Brand-Williams, *et al.* (1995). En un tubo de ensayo se añadieron 2.9 mL de una solución de DPPH 0.1 mM y 0.1 mL del extracto, se mezclaron con la ayuda de un agitador vortex y se incubó a oscuridad y temperatura ambiente hasta su medición. Las lecturas se tomaron a los 30 y 60 min a una longitud de onda de 516 nm en un espectrofotómetro marca Thermo (modelo Genesys 10-S, USA). Como blanco se utilizó metanol al 80 %.

Para el caso del método ABTS se siguió la metodología propuesta por Re *et al.* (1999). A 2 mL de una solución de ABTS diluida en etanol se le agregaron 20 µL de muestra, se mezcló con la ayuda de un agitador vortex y se incubó en la obscuridad a una temperatura de 30 °C hasta su medición. Las lecturas se tomaron a una longitud de onda de 734 nm a 1 y 7 min.

Para ambos casos se determinó el porcentaje de inhibición mediante la siguiente fórmula:

$$\%\ \text{inhibición} = \left[\left(\mathrm{A}_{\mathrm{blanco}} - \mathrm{A}_{\mathrm{muestra}}\right) * 100\right] / \mathrm{A}_{\mathrm{blanco}}$$

Se construyeron curvas estándar para ambos métodos y se calculó la actividad antioxidante a partir del porcentaje de inhibición usando como referencia

TROLOX (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetramethilchroman-2-carboxílico). Los resultados se reportaron como actividad antioxidante equivalente a TROLOX (ET).

3.5 Análisis estadístico

La planeación de la investigación y el análisis de los resultados se realizaron bajo un diseño completamente al azar (DCA), donde cada accesión (árbol) de aguacate fue considerada como un tratamiento. Para el caso de las variables físicas, los resultados se expresaron como el promedio de 40 repeticiones donde cada fruto se consideró una repetición. Para la evaluación de las variables químicas se formaron cuatro grupos homogéneos de 10 frutos cada uno, del que se tomó una muestra para su análisis teniendo 4 repeticiones.

A los datos se le aplicaron a un análisis de varianza ANOVA, comparaciones de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) y correlaciones de Pearson mediante el programa SAS (Statistical Analysis System 9.0 for Windows). Se realizó un análisis multivariado por componentes principales (CP) mediante el programa The Unscrambler X 10.3 (Camo Process AS, Oslo, Norway) con el fin de relacionar las variables respuesta estudiadas.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Tamaño

Para las variables relacionadas al tamaño (longitud, diámetro ecuatorial e índice de forma) existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las accesiones estudiadas. Los frutos más chicos fueron los de la accesión Tlalixtlipa 2 mientras que los frutos significativamente más grandes tanto por longitud como por diámetro ecuatorial fueron los de la accesión Atlixco 4. Las demás se encontraron en un tamaño intermedio (Cuadro 4). La longitud y el diámetro ecuatorial fluctuaron entre 5.67 – 9.60 cm y 3.74 – 5.79 cm, respectivamente. Briñas (2010) encontró en la región de Chilchotla, Puebla, aguacates criollos con una longitud entre 2.28 – 5.51 cm y diámetro ecuatorial entre 1.58 – 3.68 cm, mientras que Espíndola *et al.* (2011) reportaron para diversas colectas de aguacate criollo del estado de Puebla, intervalos de 8.2 - 13.1 cm para la longitud y de 4.7 - 6.4 cm para el diámetro ecuatorial. Los valores encontrados estuvieron en un intervalo intermedio entre los datos del presente trabajo, lo que muestra la variedad de tamaños en los frutos criollos lo que podría deberse, entre otros factores, a las condiciones ambientales, la genética, el tipo de floración y al grado de madurez del fruto (Cajuste *et al.*, 2001).

Cuadro 4. Características físicas del fruto de 11 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo colectados en zonas productoras del estado de Puebla, Méx.

Accesión	Longitud (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Índice de forma
Atlixco 1	5.96 ef*	3.88 gh	1.54 d
Atlixco 2	9.60 a	4.44 cd	2.16 a
Atlixco 3	6.72 d	4.37 de	1.54 d
Atlixco 4	9.57 a	5.79 a	1.66 c
Atlixco 5	7.62 c	5.13 b	1.50 de
Axocopan 1	8.00 bc	5.60 a	1.43 ef
Axocopan 2	8.40 b	4.63 c	1.82 b
Hueyapan 1	6.33 de	4.31 de	1.47 de
Hueyapan 2	5.67 f	4.19 ef	1.35 f
Tlalixtlipa 1	5.71 f	4.03 fg	1.42 ef
Tlalixtlipa 2	5.73 f	3.74 h	1.53 d
DMSH[1]	0.43	0.19	0.09
CV[2]	7.80	5.60	7.56

*Valores con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (Tukey; $P \leq 0.05$). [1]Diferencia mínima significativa honesta. [2]Coeficiente de variación.

También las diferencias fueron significativas en el índice de forma (relación longitud / diámetro ecuatorial) entre las accesiones, donde la accesión Hueyapan 2 fue el fruto casi redondo y Atlixco 2 el más alargado (forma de pera) con valores de 1.35 y 2.16, respectivamente (Cuadro 4). Los resultados son similares a lo reportado por Espíndola *et al.* (2011) con valores entre 1.4 y 2.3, y mayores a lo encontrado por Briñas (2010) con valores entre 1.24 y 1.64.

Esta variabilidad puede deberse a que los aguacates criollos se pueden encontrar en estado silvestre, donde se promueven cruzas de manera natural, que dan como resultado una amplia variedad de formas y tamaños (Bergh, 1992).

En general, la calidad del fruto es de primordial importancia en el mercado, el aspecto y forma es parte de ésta. Para el caso particular del aguacate, el mercado prefiere frutos de forma ovoide (Campos, 2004). Las normas vigentes (Norma CODEX STAN 197-1995 y Norma Mexicana NMX-FF-016-SCFI-2006), exigen que los frutos presenten formas y tamaños homogéneos acordes al tipo de variedad. La mayoría de las accesiones estudiadas presenta una forma ovoide; sin embargo, existe mucha variabilidad en la forma y tamaño de los frutos, lo que puede ser una desventaja desde un punto de vista comercial.

4.2 Peso

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para el peso del fruto y el porcentaje de los principales componentes de éste (pulpa, hueso, cáscara y agua) entre las accesiones estudiadas. El peso de los frutos osciló en el intervalo de 36.82 a 158.88 g, siendo los de las accesiones Atlixco 1, Tlalixtlipa 1 y Tlalixtlipa 2 los frutos más pequeños y los de Atlixco 4 los más grandes (Cuadro 5), que coincide con lo encontrado para longitud y diámetro ecuatorial.

Cuadro 5. Propiedades físicas del fruto de 11 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo, colectados en zonas productoras del estado de Puebla, Mex.

Accesión	Peso total (g)	Pulpa (%)	Hueso (%)	Cáscara (%)	Rendimiento**	Humedad en pulpa (%)***
Atlixco 1	45.92 gh*	62.14 de	33.96 cd	3.90 cd	1.98 cd	64.74 d
Atlixco 2	83.33 d	66.45 bc	29.98 e	3.57 de	2.41 b	57.28 e
Atlixco 3	64.21 e	67.39 bc	29.51 e	3.11 ef	2.46 b	65.40 cd
Atlixco 4	158.88 a	73.17 a	24.59 f	2.24 g	3.12 a	70.98 a-c
Atlixco 5	98.84 c	69.37 b	25.63 f	4.95 a	3.03 a	71.58 ab
Axocopan 1	128.34 b	66.02 c	31.15 de	2.83 f	2.27 bc	62.85 ed
Axocopan 2	91.35 cd	64.88 cd	32.04 de	3.08 ef	2.18 bc	73.13 a
Hueyapan 1	59.15 ef	59.56 ef	35.77 bc	4.68 ab	1.82 d	66.44 b-d
Hueyapan 2	49.85 fg	59.49 ef	36.52 bc	3.99 cd	1.76 d	58.07 e
Tlalixtlipa 1	45.51 gh	57.46 f	37.92 b	4.62 ab	1.66 d	57.75 e
Tlalixtlipa 2	36.82 h	39.68 g	56.06 a	4.26 bc	0.80 e	46.78 f
DMSH[1]	9.61	3.07	2.99	0.53	0.34	5.77
CV[2]	16.09	6.44	11.63	18.84	21.09	3.59

*Valores con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (Tukey; $P \leq 0.05$). **Rendimiento = Peso de la pulpa + peso de la cáscara / peso del hueso. ***Humedad (peso constante). [1]Diferencia mínima significativa honesta. [2]Coeficiente de variación.

Se observó también que los frutos de Zacatlán son en general más pequeños que los de Atlixco, por lo que el tamaño de los frutos puede estar influenciado por las condiciones ambientales.

El peso promedio del aguacate de la variedad Hass que se cultiva en California y Florida, U.S.A. es de 201.0 g (USDA, 2014). Wang *et al.* (2010) reportan un peso promedio de 174 g para Hass y un peso mayor (860.0 a 283.0 g) para los frutos de variedades comerciales diferentes a Hass. Asimismo, la norma CODEX STAN 197-1995 establece para aguacates de "variedades no definidas" un peso mínimo de 170 g. Los criollos mexicanos evaluados que se comercializan en mercados regionales, presentaron un peso menor a estas referencias, lo que puede representar una desventaja para su comercialización.

En relación a los componentes del fruto, la accesión Atlixco 4 destaca por tener la mayor proporción de la pulpa y un hueso pequeño, mientras que la accesión Tlalixtlipa 2 presentó la menor proporción de pulpa y un hueso muy grande. Los pesos de la pulpa, hueso y cáscara del fruto se encontraron en intervalos de 39.68 – 73.17 %, 24.59 – 56.06 % y 2.24 – 4.95 %, respectivamente. Al respecto, la USDA (2014), establece un promedio de 148.74 g para la porción comestible (pulpa) que corresponde a un 74 % del peso total del fruto para aguacates, principalmente de la variedad Hass, cultivados en las zonas productoras de Estados Unidos. Wang *et al.* (2010) midieron las características físicas de diferentes cultivares de aguacate, reportando porcentajes para la pulpa, el hueso y la cáscara de 78.8, 15.2 y 14.4 %, respectivamente para Simmonds; 78.1, 15.7 y 6.2 % para Loretta; 67.8, 18.3 y 13.9 % para Choquette; 60.8, 20.9 y 18.3 % para Booth 7; 59.2, 24.4 y 16.4 % para Booth 8; 63.0, 20.4 y

16.6 % para Tonnage, y 69.1, 17.1 y 13.8 % para Hass, respectivamente. El porcentaje de pulpa y hueso en las accesiones estudiadas es menor y mayor respectivamente, que el de la mayoría de las variedades comerciales, mientras que la de la cáscara fue mucho menor en los aguacates criollos mexicanos, lo que indicó frutos de semilla grande y cáscara muy delgada. La accesión Tlalixtlipa 2 fue notoriamente diferente, ya que presentó una semilla mucho más grande (56.06 %) y un contenido de pulpa menor (39.69 %), es la accesión de fruto de cáscara verde.

En el aspecto hortícola, una cáscara delgada protege menos al fruto de golpes y de daños por compresión, lo que puede causar daños en postcosecha que afecten la maduración normal del aguacate produciendo ablandamientos (Zamora-Magdaleno *et al.*, 1999) que se traducen en una menor vida de anaquel, razón para desalentar por parte de los consumidores la compra (Gamble *et al*., 2010).

La relación de peso pulpa + cáscara / hueso nos permitió conocer el rendimiento del fruto para el caso de los aguacates criollos, ya que la porción comestible está compuesta por la pulpa y la cáscara. Las de mayor rendimiento (Atlixco 4 y 5) presentaron un relación 3:1 en porción comestible/hueso; en contraste, la accesión Tlalixtlipa 2 presentó un valor inferior a la mitad de su peso (pulpa) caracterizándose por tener una semilla grande en proporción a su tamaño; las demás accesiones tuvieron valores intermedios que se encontraron en un intervalo de 0.80 – 3.12. Los aguacates criollos presentaron un menor rendimiento comparado con las variedades comerciales Simmons y Loretta y similar a Choquette, Booth 7, Booth 8, Tonnage y Hass. Este parámetro es

importante, ya que preferentemente lo deseable es un buen rendimiento por fruto para consumo en fresco o para la industria.

Con respecto al contenido de agua, los resultados para las accesiones estudiadas se encontraron en un intervalo de 46.78 – 73.13 %; Tlalixtlipa 2 fue la accesión que presentó el menor porcentaje de humedad; mientras que Axocopan 2, Atlixco 4 y Atlixco 5 fueron las accesiones de mayor contenido de agua. Wang *et al.* (2010) encontraron en promedio una pérdida de humedad en la pulpa de 85 % en variedades comerciales, incluyendo Hass después de un proceso de liofilización, porcentaje mayor a lo encontrado en los aguacates criollos. Por otro lado, el contenido de materia seca en los aguacates criollos fue de 26.87 a 53.22 %, este factor que es considerado como indicador de la madurez fisiológica ya que los frutos deben alcanzar un mínimo de materia seca antes de ser cosechados (21 % para el caso de aguacate Hass) (Norma CODEX STAN 197-1995 y Norma Mexicana NMX-FF-016-SCFI-2006), por lo que los aguacates criollos estudiados cumplen con este requerimiento.

4.3 Parámetros del color

La cáscara de todas las accesiones estudiadas presentaron valores de luminosidad menores a 24 % (siendo las accesiones Axocopan 2 y Atlixco 1 los que presentaron los valores más bajos), lo que indica una cáscara de color obscuro, con excepción de la accesión Tlalixtlipa 2 que presentó un valor de 30.57 %, por lo tanto, fue el fruto con la superficie menos oscura (Cuadro 6). Así también, es importante mencionar que los frutos con valores más bajos de

luminosidad presentaron la mayor concentración de antocianinas (pigmentos) en la cáscara, como se verá más adelante.

La accesión Tlalixlipa 2 presentó un ángulo *hue* de 94.58° y el valor más alto de pureza de color (10.68), por lo que tiene una superficie verde amarillenta. Las accesiones Hueyapan 2 y Atlixco 2 obtuvieron valores de ángulo *hue* de 16.95° y 28.22° respectivamente, por lo que considerando sus valores de luminosidad (23.65 y 21.12 % respectivamente) y pureza de color (6.56 y 4.25 respectivamente), presentaron un color rojizo oscuro. Con respecto a los valores de ángulo *hue* de la superficie de las demás accesiones, se encontró mucha variabilidad; sin embargo, esto no es determinante ya que el color se definió principalmente por la luminosidad y la pureza de color (*chroma*) con valores muy bajos, por lo que presentaron un color negro intenso.

La aceptación de los productos frutícolas se basa principalmente en el color y la apariencia externa, características que los consumidores, productores y vendedores asocian con la calidad cuando se trata de frutos de consumo en fresco (Reyes *et al*., 2009). En el aguacate se prefiere un fruto de cáscara de color negro y rugoso (Campos, 2004). En este aspecto, la mayoría de los aguacates criollos estudiados puede tener buena aceptación por parte de los consumidores por la coloración de su cáscara.

Cuadro 6. Parámetros de color de frutos de 11 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo colectados en zonas productoras del estado de Puebla, Mex.

Accesión	Cáscara			Pulpa		
	Luminosidad (L)	Ángulo de tono (Hue)	Pureza de color (Chroma)	Luminosidad (L)	Ángulo de tono (Hue)	Pureza de color (Chroma)
Atlixco 1	20.23 cd*	81.64 c-f	0.83 ef	63.62 d	94.74 e	26.86 ab
Atlixco 2	21.12 c	28.22 ef	4.25 c	66.92 c	95.23 e	27.16 a
Atlixco 3	20.56 c	188.93 ab	0.47 f	59.59 e	96.39 de	22.21 e
Atlixco 4	21.23 c	37.90 d-f	2.26 d	71.58 ab	95.74 e	26.26 ab
Atlixco 5	20.96 c	260.25 a	0.58 ef	73.03 a	90.20 f	18.50 g
Axocopan 1	20.68 c	130.53 bc	1.01 ef	70.59 ab	103.04 b	25.52 bc
Axocopan 2	19.35 d	70.23 c-f	1.36 e	61.45 de	98.43 cd	26.83 ab
Hueyapan 1	22.90 b	121.16 b-d	0.83 ef	72.21 ab	103.07 b	25.73 a-c
Hueyapan 2	23.65 b	16.95 f	6.56 b	70.30 b	105.57 a	24.35 cd
Tlalixtlipa 1	21.14 c	105.64 b-e	0.50 f	56.33 f	104.79 ab	23.60 de
Tlalixtlipa 2	30.57 a	94.58 c-f	10.68 a	48.57 g	99.94 c	20.10 f
DMSH[1]	1.10	87.63	0.81	2.66	2.38	1.54
CV[2]	6.60	119.18	41.66	5.38	3.15	8.23

*Valores con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (Tukey; $P \leq 0.05$). [1]Diferencia mínima significativa honesta. [2]Coeficiente de variación.

Con respecto al color de la pulpa, destaca la accesión Atlixco 5 que presentó el valor más alto de luminosidad y los valores más bajos de ángulo *hue* y pureza de color por lo que presentó un color amarillo claro; mientras que Tlalixtlipa 2 presentó el valor más bajo de luminosidad, un valor intermedio de ángulo *hue* y una pureza de color baja, por lo que tiene una coloración amarillo opaco. La pulpa de los frutos presentaron valores de luminosidad de 73.03 a 48.57 %, que corresponden a colores claros. Así también, los valores de ángulo de tono (90. 20 - 105.57) y pureza de color (18.50 - 27.16) indicaron que el color de la pulpa de los frutos se encontró en un tonalidades de color amarillo claro. En este sentido, Cox *et al.* (2004) observaron que durante la maduración del fruto de aguacate Hass, una vez cosechado, el ángulo de tono, la pureza de color y la luminosidad disminuyeron y se correlacionaron con cambios visibles de coloración. Así también, la norma mexicana NMX-FF-016-SCFI-2006, describe el color característico de la pulpa como verde amarillento, suave y de textura no fibrosa. Los aguacates criollos presentaron el color característico de esta fruta; sin embargo, es importante mencionar que se observó una textura fibrosa en algunas accesiones como fue el caso de la accesión Atlixco 5, lo que puede afectar su aceptación en el mercado para su consumo en fresco.

La caracterización física (tamaño, forma, peso, color y porcentaje de pulpa, hueso y cáscara) reflejó la gran variabilidad que existe en los frutos de aguacates criollos, lo cual puede deberse a factores genéticos, al grado de madurez o posiblemente a las condiciones ambientales donde se sitúan los árboles. Es importante señalar que durante la recolecta de los frutos, se

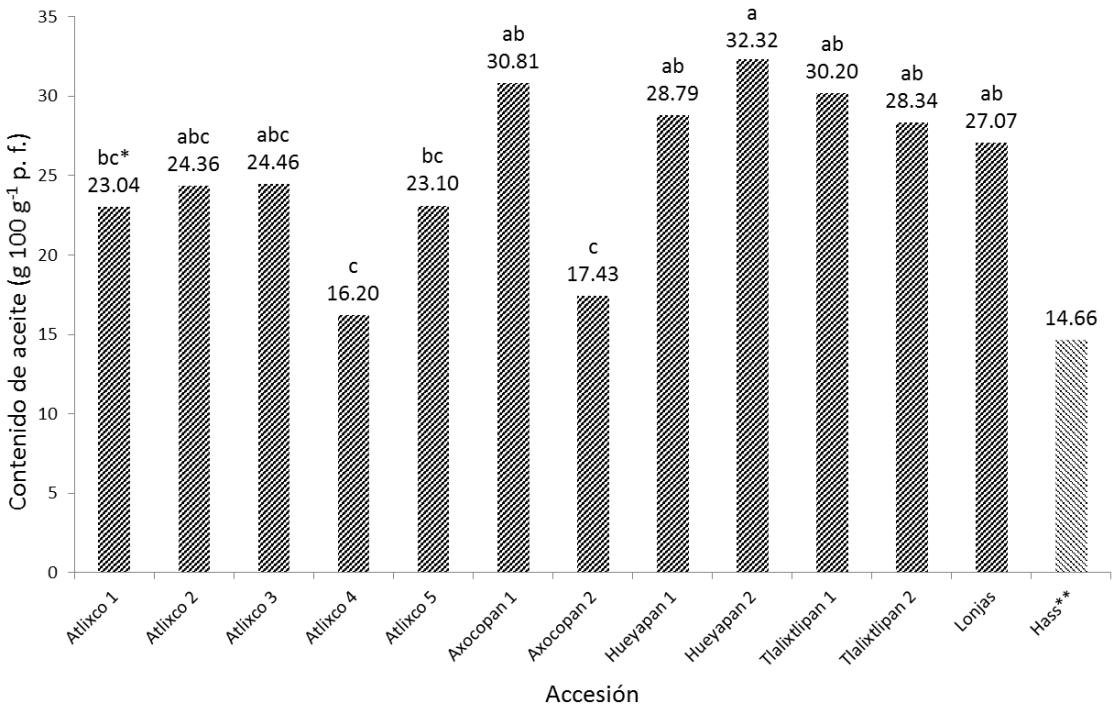
observó que los árboles de aguacate criollo no reciben los mismos cuidados por parte de los productores como sucede con las variedades de interés comercial.

4.4 Contenido de aceite

Las diferencias fueron significativas ($P \leq 0.05$) en el contenido de aceite de la pulpa de las accesiones de aguacate criollo estudiadas. Se puede notar que en general las accesiones colectadas en la región de Zacatlán presentaron un mayor contenido de aceite a comparación de las accesiones cultivadas en Atlixco (Figura 3), por lo que se puede pensar que las condiciones ambientales pudieron afectar en el contenido de aceite.

El porcentaje de aceite en la pulpa de las accesiones fluctuó entre 16.20 – 32.32 % p. f., siendo la accesión Hueyapan 2 la que presentó el mayor valor, lo que representa el doble de lo que se encontró en la accesión Atlixco 4 con la menor concentración. La USDA (2014) reporta un promedio de 14.66 g por cada 100 g de muestra fresca para las variedades comerciales cultivadas en California y Florida (principalmente el cultivar Hass). Ozdemir y Topuz (2004) determinaron el contenido de aceite en los frutos de las variedades Hass y Fuerte cosechados en diferentes épocas del año, reportando intervalos de 14.36 – 20.21 % y 11.02 – 19.57 % para Fuerte y Hass, respectivamente. Para otras especies relacionadas al aguacate, Campos-Hernández *et al.* (2011) encontraron 12.12 % en el rendimiento de aceite para *Persea schiedeana* (chinene); estos valores son menores a lo que se encontró en la mayoría de los aguacates criollos analizados en el presente trabajo. Al respecto, es importante destacar que los porcentajes encontrados son mayores al valor medio reportado

por la USDA, lo que representa una ventaja de las accesiones criollas al obtener un mayor rendimiento de aceite durante su extracción.



*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $P \leq 0.05$). **USDA, 2014.

Figura 3. Contenido promedio de aceite en frutos de 12 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo, colectados en zonas productoras del estado de Puebla, Mex. y en aguacate de la variedad aguacate Hass.

El contenido de aceite y la composición de ácidos grasos en el aguacate se puede encontrar afectada por la variedad, la temporada de cosecha y el periodo de maduración postcosecha (Ozdemir y Topuz, 2004). En el mismo sentido, en aguacate Hass se observó un incremento en el contenido de aceite a medida que la cosecha se retrasa, lo que se debe a la continuidad del desarrollo del fruto en el árbol; así como un incremento entre el inicio y fin de la temporada

comprendida entre julio y diciembre (Cajuste *et al.*, 2001). Estos factores permiten explicar parte de la variabilidad encontrada en el contenido de aceite en las accesiones estudiadas y pueden servir como referencia para incrementar el rendimiento.

La producción mundial de aceite de aguacate es menor comparado con el aceite de oliva o de palma, debido a que la mayor parte de la producción de aguacate es para el consumo en fresco. Actualmente, el aceite de aguacate es un producto muy apreciado en la industria cosmética, siendo una alternativa en su aprovechamiento (Salas *et al.*, 2000). Esto puede respaldar un aprovechamiento de los aguacates criollos para un uso alternativo al consumo en fresco.

4.5 Ácidos grasos

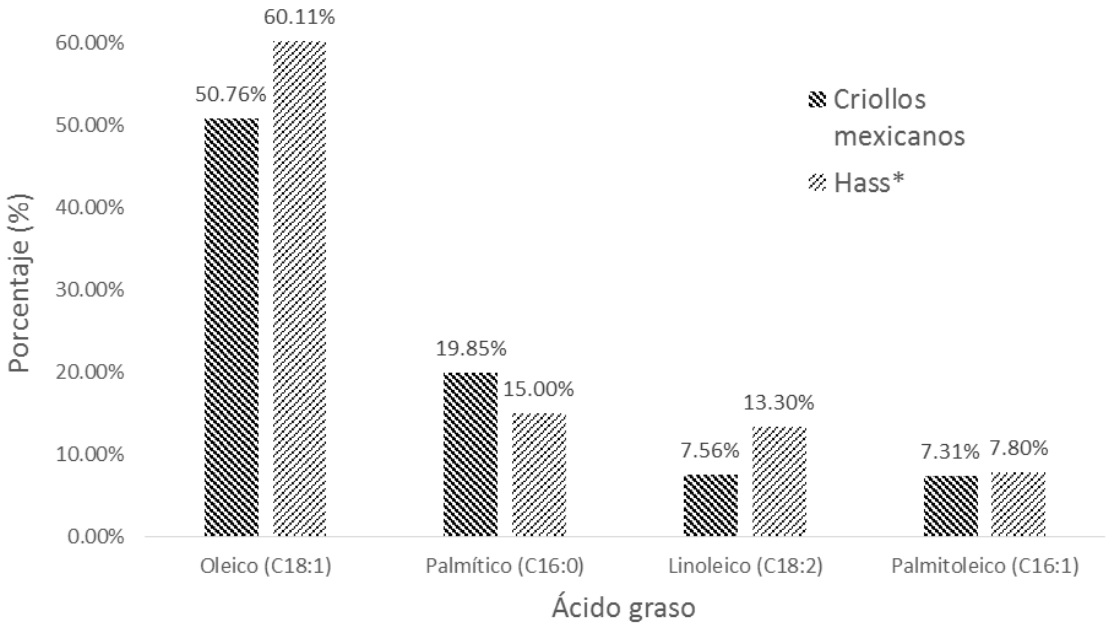
El perfil de ácidos grasos del aceite extraído fue diferente entre las accesiones, se identificaron de 4 a 7 ácidos grasos en cada accesión. Con respecto a los principales ácidos grasos, las accesiones Tlalixtlipa 1, Atlixco 4, Atlixco 1 y Lonjas presentaron el mayor contenido de ácido oleico; las accesiones Lonjas, Hueyapan 1, Hueyapan 2 y Axocopan 1 presentaron el mayor contenido de ácido palmítico; las accesiones Axocopan 1, Hueyapan 1 y Hueyapan 2 presentaron el mayor contenido de ácido palmitoleico; el ácido linoleico se encontró en cantidades similares en todas las accesiones (Cuadro 7). En los anexos A-2, A-3 y A-4 se muestran ejemplos de los cromatogramas.

Cuadro 7. Porcentaje de ácidos grasos en el aceite extraído de la pulpa de 12 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo, colectados en zonas productoras del Estado de Puebla, México.

Accesión	Oleico C18:1	Palmítico C16:0	Palmitoleico C16:1	Linoleico C18:2	6,9,12,15-Docosatetraenoico	9,12,15-Octadecatrienoico Linolénico	Trans-13-octadecenoico	11-Octadecenoico	9-Octacenoico
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Atlixco 1	55.95 **ab**	19.43 **b-d**	6.73 **c**	9.11 **ab**	8.78	-	-	-	-
Atlixco 2	48.26 **de**	18.05 **cd**	6.39 **c**	7.87 **a-d**	8.47	6.30	-	4.65	-
Atlixco 3	48.77 **de**	18.43 **cd**	6.80 **c**	8.74 **a-c**	8.49	8.76	-	-	-
Atlixco 4	58.50 **a**	13.56 **d**	3.36 **d**	9.26 **a**	6.36	4.06	-	4.91	-
Atlixco 5	48.90 **de**	20.09 **b-d**	5.96 **cd**	6.91 **a-d**	7.34	8.49	2.31	-	-
Axocopan 1	48.16 **de**	22.39 **a-c**	11.45 **a**	5.44 **d**	4.05	-	4.08	-	4.44
Axocopan 2	43.10 **ef**	13.80 **d**	5.97 **cd**	7.41 **a-d**	11.03	18.69	-	-	-
Hueyapan 1	41.10 **f**	26.02 **ab**	10.25 **ab**	7.91 **a-d**	11.91	-	2.81	-	-
Hueyapan 2	49.94 **c-d**	22.53 **a-c**	9.51 **ab**	6.01 **cd**	12.00	-	-	-	-
Tlalixtlipa 1	59.72 **a**	17.04 **cd**	6.51 **c**	7.35 **a-d**	9.38	-	-	-	-
Tlalixtlipa 2	51.15 **b-d**	19.22 **cd**	6.44 **c**	6.42 **b-d**	8.08	8.69	-	-	-
Lonjas	55.61 **a-c**	27.69 **a**	8.40 **bc**	8.29 **a-c**	-	-	-	-	-

*Valores con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (Tukey; $P \leq 0.05$).

El ácido oleico fue el que se encontró en mayor proporción (41.10 a 59.72 %) en todas las accesiones; después el palmítico (13.56 a 27.69 %); seguido del palmitoleíco (3.36 a 11.45 %) y finalmente el linoleíco (5.44 a 9.26 %). El porcentaje de estos ácidos grasos fue menor a lo que se ha reportado para la variedad Hass (Ariza *et al.*, 2011), la excepción fue el ácido palmítico, cuya presencia en promedio de todas las accesiones estudiadas fue mayor a lo reportado por los autores (Figura 4).

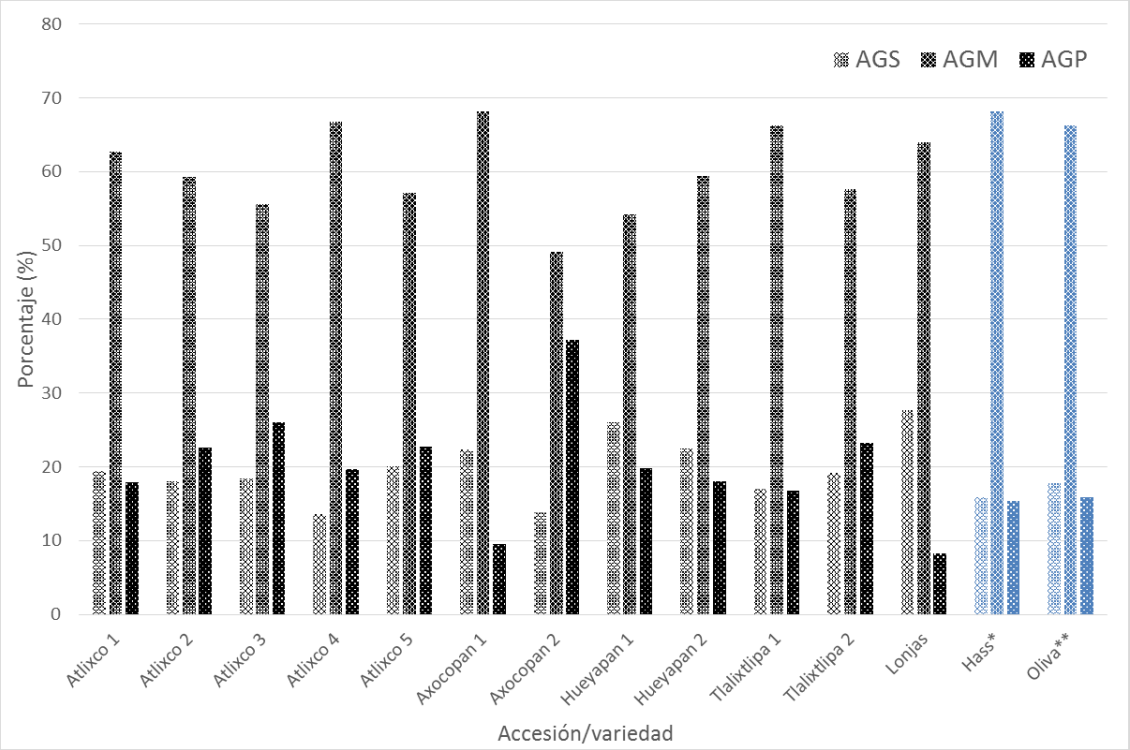


*Ariza *et al.*, 2011.

Figura 4. Contenido promedio de los principales ácidos grasos en el aceite de aguacates criollos cultivados en el estado de Puebla y en aceite de la variedad Hass.

En los aguacates criollos evaluados, los ácidos grasos monoinsaturados (AGM) se encontraron en mayor proporción (de 49.07 a 68.13 %); seguido de los ácidos grasos poliinsaturados (AGP) (de 8.29 a 37.13 %) y finalmente los ácidos grasos saturados (AGS) (de 13.56 a 27.69 %). Ariza et al. (2011) reportó para aguacate Hass una proporción de 68.2 % de AGM, 15.36 % de AGP y 15.85 % de AGS. Para el caso de aceite de oliva, Knothe (2013) reportó 66.3 % de AGM, 15.9 % de AGP y 17.8 % de AGS. Los aguacates criollos estudiados presentaron en general una menor proporción de AGM (60.1%), una mayor proporción de AGP (20.13 %) y una mayor proporción de AGS (19.85 %) con respecto a estas referencias (Figura 5).

El perfil de ácidos grasos es el atributo característico que define la calidad y los posibles usos que del aceite se pueden derivar. El aceite de aguacate, al igual que el aceite de oliva, es rico en ácido oleico, tiene un bajo contenido de ácidos grasos saturados, lo que genera un valor por su composición considerada benéfica para la salud y lo hace apropiado para el consumo humano directo, así como un excelente componente en dietas diseñadas para reducir las enfermedades cardiovasculares (Salas *et al.*, 2000; Ortiz *et al.*, 2004).



*Ariza *et al.*, 2011; **Knothe, 2013.

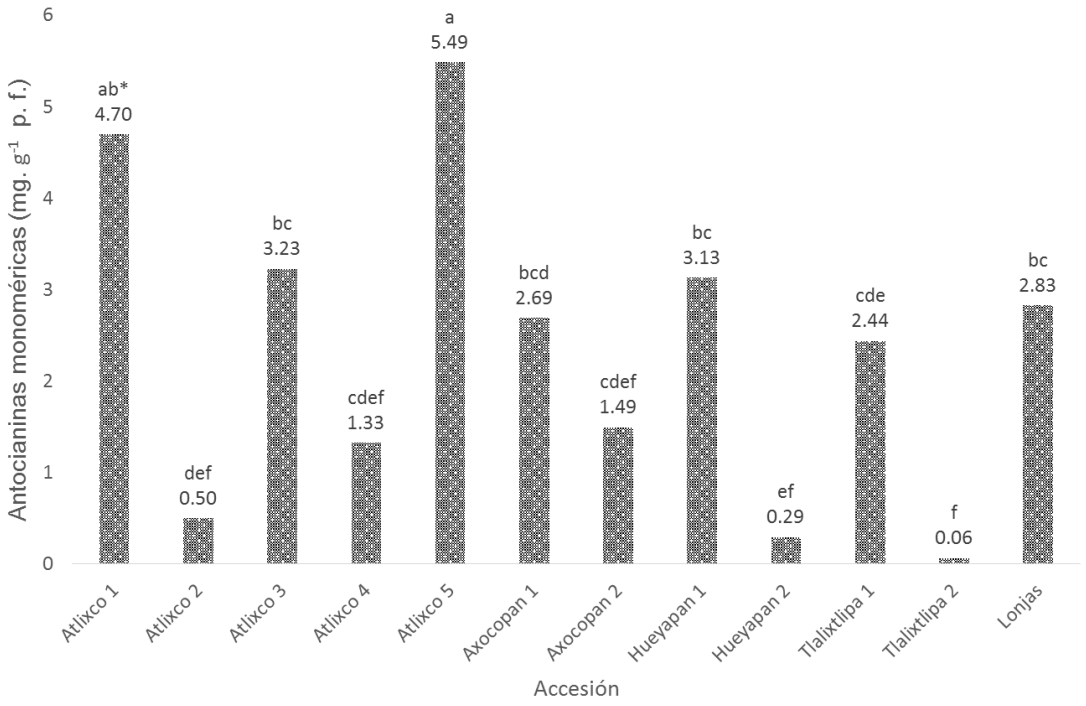
Figura 5. Composición de ácidos grasos en el aceite de aguacates criollos cultivados en el estado de Puebla, en aceite de la variedad Hass y en aceite de oliva**.**

Es importante señalar que la presencia de otros ácidos grasos insaturados (AGI) en las accesiones estudiadas, como el ácido 6,9,12,15-docosatetraenoico (ácido graso omega 6) se identificó en la mayoría de las accesiones en una concentración de 12.0 a 4.05 %, por lo que el porcentaje de AGI encontrado en estos frutos fue mayor en comparación con los saturados (principalmente ácido palmítico).

No se detectaron ácidos grasos *trans* (AGT) en la mayoría de las accesiones, las excepciones fueron Atlixco 5, Hueyapan 1 y Axocopan 1. El ácido trans-13-octadecenoico se encontró en un intervalo de 2.31 – 4.08 %. La Danish Veterinary and Food Administration establece 1 % de ácidos grasos *trans* del total de aceite o grasa para considerarlo un producto "libre de ácidos grasos *trans*" (Stender y Dyerberg, 2003). Es importante aclarar que algunos métodos de extracción, como lo es la extracción por solventes, pueden generar AGT (artefactos) (Ariza *et al.*, 2011), lo que podría explicar su presencia en estas accesiones. Se recomienda realizar la extracción de aceite usando otras metodologías como el prensado para corroborar esto.

4.6 Antocianinas en la cáscara

Las diferencias fueron significativas ($P \leq 0.05$) en la concentración de antocianinas monoméricas entre las accesiones. Los pigmentos se encontraron en un intervalo de 0.06 – 5.49 mg g^{-1} de peso fresco (Figura 6). La accesión Atlixco 5, que posee una cáscara relativamente gruesa de un color negro intenso, fue la que presentó la mayor concentración de estos pigmentos. El contenido menor de antocianinas se observó en la accesión Tlalixtlipa 2, que se caracteriza por ser un fruto de cáscara verde.



*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $P \leq 0.05$).

Figura 6. Antocianinas monoméricas en el exocarpio (cáscara) de 12 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo colectados en el estado de Puebla, Mex.

La concentración de antocianinas se ha estudiado en otros cultivares. Ashton *et al.* (2006) reportaron que la concentración de antocianinas en la cáscara del fruto del cultivar Hass se incrementa continuamente después de cuatro días de la cosecha, hasta alcanzar una concentración de 0.235 mg g^{-1} p.f. después de 13 días. Cox *et al.* (2004) encontraron una cantidad similar (0.24 mg g^{-1} p.f.) para los frutos del mismo cultivar Hass siete días después de la cosecha, madurados a 20 °C, concentraciones menores a las encontradas en las accesiones de aguacate criollo analizadas en el presente estudio, la excepción fue Tlalixtlipa 2 (fruto de cáscara verde).

Al respecto, Cox *et al.* (2004) realizaron una evaluación del contenido de antocianinas en la cáscara de frutos (coloraciones verde oliva, púrpura y negro) que se encontraban al final de su etapa de desarrollo en el árbol. Los resultados mostraron que el contenido de antocianinas aumenta con el oscurecimiento de la piel como parte del proceso de natural de maduración. Además, los autores indicaron que las diferencias en la concentración del pigmento, puede estar influenciada por condiciones de estrés ambiental como la temperatura y cantidad de luz solar, condiciones que favorecen la síntesis de antocianinas. Los frutos situados dentro de la cubierta foliar del árbol están ocultos a la exposición directa a la luz solar por lo que experimentan temperaturas más bajas, lo que puede resultar en una fruta menos estresada, por lo tanto, que produzca menos antocianinas. Estos factores podrían explicar la variabilidad que se encontró en el contenido de antocianinas para los frutos que se recolectaron de un mismo árbol.

Se han realizado estudios que comprueban que la piel del aguacate tiene una alta cantidad de metabolitos secundarios como compuestos fenólicos (antocianinas y procianidinas), carotenoides y clorofilas, a diferencia de las concentraciones de estos metabolitos encontradas en la pulpa (Ashton *et al.*, 2006; Cox *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2010). Esta cualidad puede aprovecharse por el impacto positivo que tienen estos compuestos en la salud humana debido a que juegan un papel importante en la prevención de enfermedades degenerativas y en el retraso del envejecimiento (Katsube *et al.*, 2003).

Las investigaciones en la identificación y cuantificación de antocianinas en la cáscara de los aguacates se han realizado desde un punto de vista comercial, pero no se había considerado su estudio como alimento y fuente natural de antioxidantes.

4.7 Actividad antioxidante en la cáscara

La actividad antioxidante en la cáscara (mMol equivalentes de TROLOX (ET) por g de p. f.) se muestra en el Cuadro 8, donde se observan diferencias significativas entre las accesiones para los dos métodos utilizados (ABTS y DPPH). Para cada metodología se tomaron las mediciones en dos tiempos y el análisis estadístico mostró que no existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tiempos. Las accesiones Atlixco 5 y Atlixco 1 presentaron mayor actividad antioxidante, mismos que presentaron el mayor contenido de antocianinas en la piel. Por otro lado, la accesión con la menor actividad antioxidante fue Tlalixtlipa 2 que presentó la menor concentración de antocianinas en este tejido.

En este sentido, Kosińska *et al*. (2012) reportaron una concentración de 0.161 y 0.112 mMol ET g^{-1} p.s. para la actividad antioxidante (ABTS) de aguacates de la variedad Hass y Shepard respectivamente; Wang *et al.* (2010) analizaron la actividad antioxidante (DPPH) en la cáscara de aguacate Hass en madurez de consumo encontrando un valor de 0.190 mMol ET g^{-1} p.f. Estos valores son menores a los encontrados en las accesiones de aguacate criollo analizadas. Los mismos autores también encontraron una alta correlación entre la actividad

antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos, dentro de los que se encontraron las antocianinas.

Cuadro 8. Actividad antioxidante (DPPH y ABTS) en la cáscara (exocarpio) de 12 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo, colectados en el estado de Puebla, Mex.

Accesión	Actividad antioxidante (mMol ET g^{-1} p. f.)							
	DPPH				ABTS			
	Min 30		Min 60		Min 1		Min 7	
Atlixco 1	211.91	a*	216.60	a	187.59	b	223.86	b
Atlixco 2	87.40	de	94.09	de	67.79	ef	84.04	e-g
Atlixco 3	169.10	ab	179.57	ab	134.73	b-d	164.41	b-d
Atlixco 4	92.09	de	98.38	de	69.84	ef	80.99	fg
Atlixco 5	187.91	ab	188.07	ab	259.08	a	307.33	a
Axocopan 1	103.63	c-e	110.61	c-e	89.40	d-f	106.20	d-g
Axocopan 2	173.22	ab	179.88	ab	136.04	b-d	163.75	b-d
Hueyapan 1	131.78	b-d	141.45	b-d	110.07	c-f	128.07	c-f
Hueyapan 2	86.53	de	92.12	de	59.49	f	70.34	fg
Tlalixtlipa 1	159.27	a-c	171.86	a-c	129.95	b-e	155.45	b-e
Tlalixtlipa 2	64.29	e	69.29	e	46.07	f	53.31	g
Lonjas	194.89	ab	200.29	ab	157.23	bc	187.05	bc
DMSH	63.34		63.98		64.24		73.92	
CV	18.53		17.86		21.58		20.84	

*Valores con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (Tukey; $P \leq 0.05$).
[1]Diferencia mínima significativa honesta. [2]Coeficiente de variación.

También se ha cuantificado la actividad antioxidante en la cáscara de otros frutos de importancia comercial. Poudel *et al*. (2008) midieron la actividad

antioxidante por el método DPPH en la piel de cinco genotipos de uvas silvestres (*Vitis sp.*) encontrando un intervalo de 15.7 – 61.7 mMol ET g^{-1} p.f. Contreras-Calderón *et al.* (2011), reportaron la actividad antioxidante (0.027 – 0.428 mMol ET g^{-1} p.f.) en la cáscara de frutos exóticos de Colombia determinada por el método ABTS. Los valores encontrados en la cáscara de los aguacates criollos analizados son superiores a los descritos por estos estudios, lo cual permite inferir que lo frutos de los aguacates criollos presentan un alto potencial antioxidante y podrían ser considerados alimentos con importante valor nutracéutico.

Por la alta actividad antioxidante encontrada en las accesiones, es preferible que los aguacates criollos que tienen la piel delgada y de colores oscuros (rojizos, púrpuras y negros) se consuman íntegros sin eliminarles la cáscara, ya sea como consumo en fresco o en forma de los muchos platillos que se preparan con el aguacate. Se recomienda realizar una evaluación sensorial para conocer el grado de aceptabilidad por parte del consumidor.

4.8 Actividad antioxidante en la pulpa

Las diferencias entre las accesiones de aguacate criollo fueron estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en la evaluación de la actividad antioxidante de los extractos de la fracción hidrofílica (metanol 80 %) y lipofílica (hexano) de la pulpa (Cuadro 9). No existieron diferencias significativas entre los tiempos. La fracción metanolica presentó mayor actividad antioxidante en comparación con la fracción hexánica. Esta variación podría explicarse a la

naturaleza química de las fracciones, en la fracción hidrofílica se encuentran antioxidantes de naturaleza polar, en contraste, la fracción hexánica está constituida principalmente por aceite y vitamina E. En investigaciones que se realizaron con otros métodos (ORAC) se ha encontrado una mayor capacidad antioxidante en la fracción lipofílica comparada con la fracción hidrofílica (Rodríguez-Sánchez *et al*., 2013), por lo que se recomienda en estudios posteriores medir la capacidad antioxidante usando metodologías alternativas.

Existen estudios que documentan la actividad antioxidante en la pulpa de aguacate de diferentes cultivares. Wang *et al.* (2010) reportaron la actividad antioxidante (0.07 - 0.13 mMol ET 100 g^{-1} p.f.) obtenidas por el método DPPH para las variedades Slimcado, Simmonds, Loretta, Choquette, Booth 7, Booth 8, Tonnage y Hass, respectivamente. Los aguacates criollos presentaron mayor actividad antioxidante en la pulpa en comparación con estas variedades. Es importante hacer notar que las diferencias también se podrían deber a la metodología empleada.

Kuskoski *et al*. (2005) reportaron mediciones en extractos metanólicos de la actividad antioxidante (0.27 - 1.20 mMol ET 100 g^{-1} p.f.) obtenidas por el método ABTS en la pulpa de algunos frutos tropicales (mora, uva, guayaba, fresa, piña, mango y maracuyá). Estos valores son inferiores a lo encontrado en la pulpa de los aguacates criollos tanto en la fracción metanólica como en la fracción hexánica.

Cuadro 9. Actividad antioxidante (ABTS) en el mesocarpio (pulpa) de 12 accesiones de aguacate criollo en madurez de consumo, colectados en el estado de Puebla, Méx.

Accesión	Actividad antioxidante (mMol ET 100 g^{-1} p. f.)							
	Fracción hidrofílica				Fracción lipofílica			
	Min 1		Min 7		Min 1		Min 7	
Atlixco 1	138.28	b-d	201.58	b-d	14.20	b-d	34.49	b-d
Atlixco 2	140.85	b-d	200.00	b-d	23.04	ab	42.62	ab
Atlixco 3	181.09	ab	267.31	ab	13.47	cd	31.73	c-e
Atlixco 4	152.64	b-d	260.64	a-c	13.14	cd	26.00	de
Atlixco 5	165.59	a-c	222.32	b-d	9.09	d	23.65	e
Axocopan 1	126.80	b-d	186.81	cd	8.08	d	23.51	e
Axocopan 2	126.27	b-d	191.61	b-d	13.35	cd	23.68	e
Hueyapan 1	179.08	ab	224.64	b-d	8.00	d	26.29	de
Hueyapan 2	115.67	cd	173.49	d	18.85	a-c	34.84	bc
Tlalixtlipa 1	142.43	b-d	220.85	b-d	18.79	a-c	44.86	a
Tlalixtlipa 2	224.67	a	310.85	a	25.90	a	42.62	ab
Lonjas	100.52	d	147.53	d	10.90	cd	23.44	e
DMSH	62.32		79.69		8.85		8.52	
CV	16.89		14.86		24.33		10.98	

*Valores con la misma letra en columna son estadísticamente iguales (Tukey; $P \leq 0.05$).
[1]Diferencia mínima significativa honesta. [2]Coeficiente de variación.

Los antioxidantes hidrofílicos, como los compuestos fenólicos y el ácido ascórbico encontrados en la pulpa de aguacate son reconocidos como los compuestos que aportan la mayor actividad antioxidante en frutas y vegetales. En algunos estudios se ha encontrado una alta correlación entre la actividad

antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos en los tejidos vegetales, especialmente en cuando se detecta la presencia de antocianinas (Kuskoski *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2010). Por otro lado, el fruto del aguacate es reconocido como una fuente rica en fitoquímicos lipofílicos como ácidos grasos monoinsaturados, tocoferoles, carotenoides, esteroles y acetogeninas. Estudios anteriores han comprobado la correlación de la actividad antioxidante con estos fitoquímicos (Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2013).

La piel de los aguacates criollos es el componente de la porción comestible que aporta la mayor actividad antioxidante, seguido de la fracción hidrofílica (metanólica) de la pulpa, por último, la fracción lipofílica (hexánica) de la pulpa.

Se sugiere realizar estudios en aguacates criollos que se encuentren en un proceso de selección y que presenten ventajas de interés comercial (mayor rendimiento, mejor sabor, alto contenido de aceite) con el fin de conocer su potencial nutracéutico. También, es recomendable realizar la identificación y cuantificación de los compuestos por medio de técnicas precisas como la cromatografía de gases acoplado a espectrómetro de masas (CG-EM) y cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC).

4.9 Correlación

Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables que se midieron en los frutos de aguacate criollo (peso, contenido de fitoquímicos en el fruto, parámetros de color, contenido de aceite y actividad antioxidante) (Cuadro 10). Con respecto al peso del fruto, se encontró una correlación

positiva con el contenido de pulpa (0.712) y agua (0.581) y una correlación negativa con el porcentaje de hueso (-0.672), de la cáscara (-0.672) y el contenido de aceite (-0.528). La proporción de pulpa se correlacionó positivamente con el contenido de agua (0.809) y la luminosidad (0.722), mientras que se encontró una correlación negativa con el contenido de aceite (-0.520) y la actividad antioxidante en la fracción lipofílica (-0.587).

La capacidad antioxidante de la fracción hidrofílica de la pulpa estuvo correlacionada negativamente con la luminosidad (-0.554) y la pureza de color (-0.525), esto indicó que la pulpa que presenta colores más obscuros tiene una mayor actividad antioxidante y podría deberse a la presencia de carotenoides y clorofilas (Ashton *et al*., 2006). Por otro lado, la capacidad antioxidante de la fracción lipofílica tuvo una correlación negativa con el peso (-0.642), el contenido de pulpa (-0.587) y el contenido de agua (-0.827), lo que indicó que en los frutos más pequeños y con una mayor cantidad de materia seca podría haber una mayor concentración de compuestos antioxidantes (tocoferoles) en el aceite.

También se calculó en coeficiente de correlación para las variables cuantificadas en la cáscara del fruto (Cuadro 11). La actividad antioxidante cuantificada por dos métodos, presentó una correlación negativa con la luminosidad (-0.626 y -0.503 por DPPH y ABTS, respectivamente) y pureza de color (-0.750 y -0.639 por DPPH y ABTS, respectivamente), así como, una correlación positiva con los valores de ángulo de tono de color (0.511 y 0.727 por DPPH y ABTS, respectivamente); por lo tanto, los frutos con cáscara de

colores más oscuros tuvieron mayor capacidad antioxidante (captación de radicales libres). También, la actividad antioxidante estuvo altamente correlacionada (0.814 y 0.904 por DPPH y ABTS, respectivamente) con el contenido de antocianinas en la cáscara. Las antocianinas y otros compuestos fenólicos han demostrado su capacidad para neutralizar diversas especies antioxidantes (Harborne y Williams, 2000).

Cuadro 10. Coeficientes de Correlación de Pearson entre las variables del fruto de 12 accesiones de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia)*.

	Peso	Pulpa	Hueso	Cáscara	Agua	Lum[1]	Hue	Croma	Aceite	CAH[2]	CAL[3]
Peso	1.000	0.712	-0.675	-0.672	0.581	0.576	-0.312	0.234	-0.528	-0.091	-0.642
Pulpa		1.000	-0.996	-0.474	0.809	0.722	-0.443	0.336	-0.520	-0.419	-0.587
Hueso			1.000	0.392	-0.815	-0.742	0.455	-0.297	0.493	0.437	0.581
Cascara				1.000	-0.290	-0.120	0.086	-0.516	0.491	0.005	0.323
Agua					1.000	0.605	-0.431	0.224	-0.654	-0.307	-0.827
Lum						1.000	-0.148	0.277	-0.104	-0.554	-0.646
Hue							1.000	0.212	0.707	-0.215	0.233
Croma								1.000	-0.232	-0.525	-0.079
Aceite									1.000	-0.159	0.391
CAH										1.000	0.233
CAL											1.000

[1]Luminosidad de color. [2]Capacidad antioxidante en la fracción hidrofílica. [3] Capacidad antioxidante en la fracción lipofílica.

Cuadro 11. Coeficientes de Correlación de Pearson entre las variables de la cáscara del fruto de 12 accesiones de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia)*.

	PC[1]	Luminosidad	Hue	Croma	Antocianinas	CAD[2]	CAA[3]
PC	1.000	0.325	0.375	0.099	0.316	0.228	0.391
Lum		1.000	-0.128	0.881	-0.492	-0.626	-0.503
Hue			1.000	-0.429	0.759	0.511	0.727
Croma				1.000	-0.735	-0.750	-0.639
Antocianinas					1.000	0.814	0.904
CAD						1.000	0.870
CAA							1.000

[1]Proporción de cáscara en el fruto. [2]Capacidad antioxidante por el método DPPH. [3]Capacidad antioxidante por el método ABTS.

4.10 Análisis de componentes principales

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con las principales variables con el fin de agrupar las accesiones de aguacate criollo estudiadas (Figura 7). El peso del fruto se excluyó debido a su correlación positiva con la longitud y el diámetro polar; la actividad antioxidante (DPPH y ABTS) se excluyó por su correlación positiva con el contenido de antocianinas; la pureza de color de la cáscara se descartó por su correlación positiva con la luminosidad de la cáscara.

Los primeros cuatro componentes explicaron el 86.49 % de la variabilidad de la información de las variables iniciales. El primer componente (CP1) presentó correlación positiva con el contenido de pulpa y correlación negativa con la luminosidad de la cáscara y la capacidad antioxidante de la fracción lipofílica de la pulpa. El segundo componente (CP2) tuvo correlación positiva con el porcentaje de cáscara, y negativa con la cromaticidad de la pulpa. El tercer componente (CP3) se caracterizó por tener una correlación positiva con el contenido de aceite y una correlación negativa con la capacidad antioxidante de la fracción hidrofílica. El cuarto componente (CP4) mostró una correlación positiva con el diámetro del fruto (0.485).

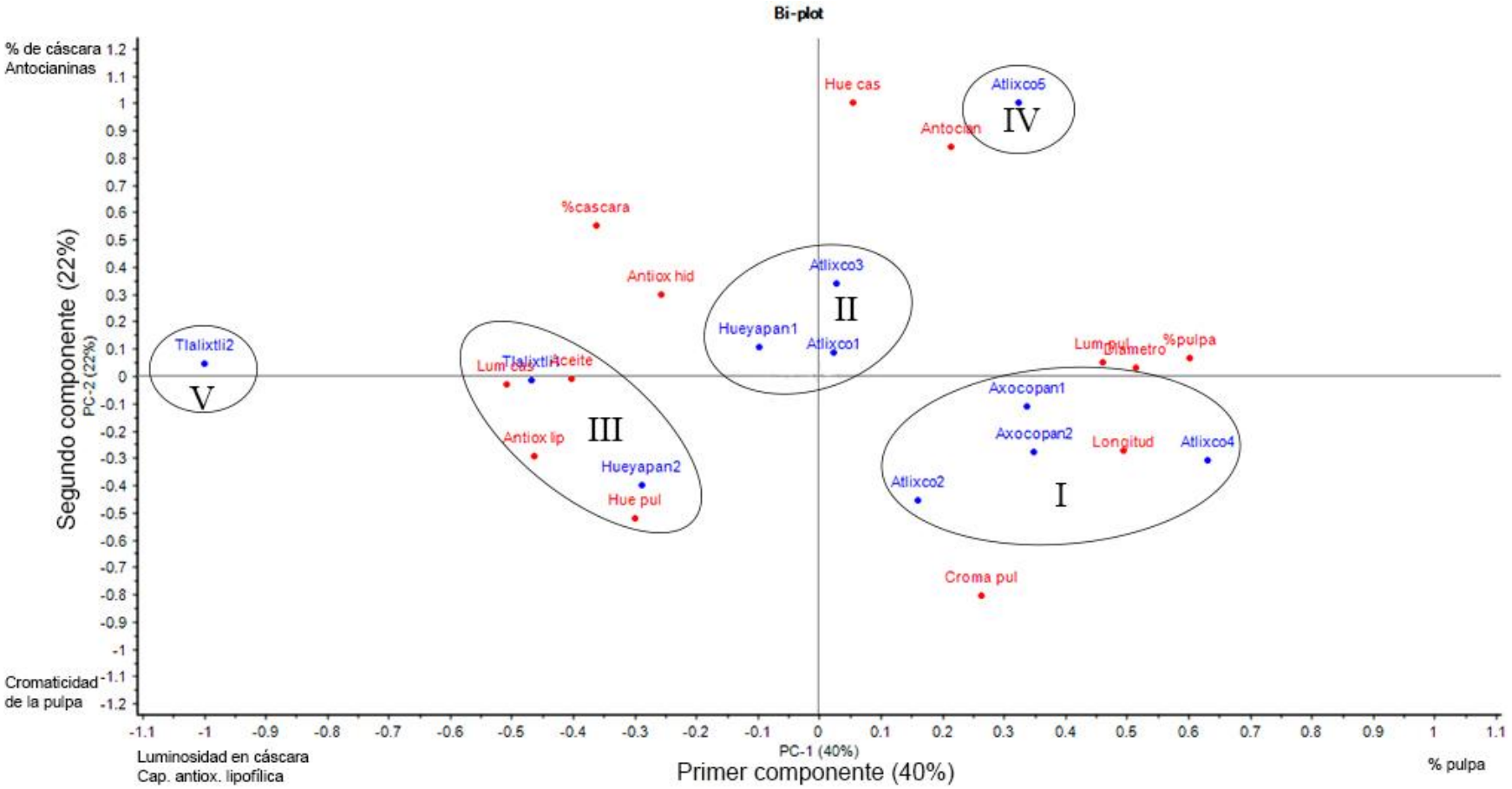


Figura 7. Agrupación de 11 accesiones de aguacate criollo colectados en el estado de Puebla, basado en características físicas y fitoquímicas del fruto.

Las proyecciones de las observaciones del primer y segundo componente permitieron separar en cinco grupos a los frutos de aguacate criollo estudiados. Las accesiones Atlixco 2, Atlixco 4, Axocopan 1 y Axocopan 2 formaron parte del Grupo I, que se caracteriza por presentar tamaño grande (valores altos de longitud y diámetro polar), mayor porcentaje de pulpa con respecto al peso total del fruto y colores más puros (amarillo-verdoso). Atlixco 1, Atlixco 3 y Hueyapan 1 conformaron el grupo II, con valores medios-altos de capacidad antioxidante en la fracción metanolica de la pulpa (entre 200 y 260 mMol ET 100 g^{-1} peso fresco).

Las accesiones Tlalixtlipa 1 y Hueyapan 2 integraron el Grupo III, que se caracteriza por tener un mayor contenido de aceite, una mayor capacidad antioxidante en la fracción lipofílica de la pulpa y color de cáscara menos oscuro (luminosidad más alta). La accesión Atlixco 5 fue la única que integró el Grupo IV que presentó un alto contenido de antocianinas. Finalmente, la accesión Tlalixtlipa 2 conformó el grupo V, que presentó un color más claro en su cáscara (coloración verde-amarillenta).

Existen muchos factores (genéticos, ambientales, el grado de madurez) que pudieron afectar las diferencias encontradas en las accesiones estudiadas. El análisis mostró que es posible encontrar aguacates criollos con características con mayor valor nutracéutico. Algunos pueden ser aprovechados por su alto contenido de aceite, mientras que en otros pueden extraerse lo fitoquímicos de la cáscara (como antioxidantes o pigmentos), generando nuevos productos y valor agregado en beneficio de los productores. Sin embargo, es necesario

hacer una identificación y un proceso de selección de los tipos que presenten los mejores atributos dependiendo del aprovechamiento que se les quiera dar. Actualmente, existen bancos de germoplasma en algunos estados de la República que están iniciando con esta labor de conservación. La presente investigación identificó algunas características fitoquímicas y físicas que presentaron en este estudio los aguacates criollos, pudiéndose considerar una contribución a su revalorización por el consumidor y productores.

5 CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las accesiones de aguacate estudiadas en relación a sus características físicas (longitud, diámetro ecuatorial, índice de forma, peso, color y porcentaje de pulpa, hueso y cáscara) lo que demuestra gran variabilidad entre accesiones.

Las accesiones de aguacate criollo mexicano estudiadas presentaron alto contenido de aceite (10.5 a 120.5 %) en comparación a Hass y otras variedades comerciales.

En los aguacates criollos evaluados, se encontraron en mayor proporción los AGM (de 49.07 a 68.13 %); seguido de los AGP (de 8.29 a 37.13 %) y finalmente los AGS (de 13.56 a 27.69 %). En comparación con el aceite de aguacate Hass y el aceite de oliva, presentaron una menor proporción de AGM, y una mayor proporción de AGP y AGS.

Las doce accesiones presentaron en promedio una proporción (19.2 %) de los principales ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico y palmitoleico) menor en comparación con la variedad Hass y una proporción variable de otros ácidos grasos insaturados. No se detectaron ácidos grasos *trans* en la mayoría de las accesiones.

La cáscara de los aguacates de todos los aguacates criollos estudiados, a excepción de la accesión Tlalixtlipa 2 (cáscara verde), presentaron un alto

contenido de antocianinas (0.29 a 5.49 mg g^{-1} p.f.) y una alta actividad antioxidante. La actividad antioxidante se asocia con el contenido de antocianinas y la coloración oscura de la cáscara.

La cáscara presentó mayor actividad antioxidante (53.3 - 307.3 mMol ET g^{-1} p. f.), seguido de la fracción hidrofílica de la pulpa (1.48 – 3.11 mMol ET g^{-1} p. f.) y por último en la fracción lipofílica de la pulpa (0.23 – 0.45 mMol ET g^{-1} p. f.). La actividad antioxidante encontrada en pulpa de los aguacates criollos es mayor que la de muchas variedades comerciales, incluyendo la variedad Hass.

El análisis de componentes principales permitió separar en cinco grupos las accesiones estudiadas (contenido de antocianinas en la cáscara, el contenido de aceite, el porcentaje de pulpa y el tamaño del fruto).

6 BIBLIOGRAFÍA

ANTOLOVICH, M.; PRENZLER, P. D.; PATSALIDES, E.; MCDONALD, S.; ROBARDS, K. 2002. Methods for testing antioxidant activity. The analyst 127:183-198.

ARIZA O, J. A. ; LÓPEZ V., F. ; COYOTL H., J. ; RAMOS C, M. E.; DÍAZ R., J. ; MARTÍNEZ Z., A. 2011. Efecto de diferentes métodos de extracción sobre el perfil de ácidos grasos en el aceite de aguacate (*Persea americana* Mill. var. Hass). Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2(2): 263-276.

ASHTON, O. B. O.; WONG, M.; MCGHIE, T. K. VATHER, R.; WANG, Y.; REQUEJO-JACKMAN, C.; RAMANKUTTY, P.; WOOLF, A. B. 2006. Pigments in avocado tissue and oil. Agricultural and Food Chemistry 54: 10151-10158.

ASTIASARÁN, I. Y MARTÍNEZ. A. 2003. Alimentos, composición y propiedades. Segunda edición. Mc.Graw-Hill Interamericana. España. 370 p.

BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; LÓPEZ-LÓPEZ, L. 2000. Historia y genética del aguacate. *In:* El aguacate y su manejo integrado. Téliz, D. (ed). Ediciones Mundi-Prensa. México. 121 p.

BEN-YA'ACOV, A.; LÓPEZ-LÓPEZ, L.; DE LA CRUZ-TORRES, E.; BARRIENTOS PRIEGO, A. F. 1992. A study of avocado germoplasma resources, 1988-1990. II. Findings from the central part of México. Proceedings of Second World Avocado Congress 1992. pp 543-544.BERGH, B. O. 1992. The origin, nature, and genetic improvement of the avocado. California Avocado Society. Yearbook 76:61-75.

BERGH, B.; ELLSTRAND, N. 1986. Taxonomy of the avocado. California Avocado Society. Yearbook 70:135-145.

BERGH, B. O.; SCORA, R. W.; STOREY, W. R. 1973. A comparison of the leaf terpenes in *Persea* subgenus *Persea*. Botanical Gazette 134:130-134.

BIRUETE G., A; JUÁREZ H., E; SIEIRO O, E; ROMERO V., R.; SILENCIO B., J. L. 2009. Los nutracéuticos. Lo que es conveniente saber. Revista Mexicana de Pediatría 76 (3): 136-145.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E. & BERSET, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Science and Technology 28: 25-30.

BRIDLE, P.; TIMBERLAKE, C. F. 1997. Anthocyanins as natural food colours-selected aspects. Food Chemistry 58:103-109.

BRIÑAS VILLALOBOS, F. C. 2010. Usos locales y diversidad de aguacate (*Persea Americana* Mill.) en el municipio de Chilchotla, Puebla. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. 112 p.

BOWMAN, K. D.; SCORA, R. W. 1992. The necessity of avocado germplasm resources. *In:* Proc. of Second World Avocado Congress. California, U.S.A. 1991. pp: 531-534.

CAJUSTE B., J. F.; LÓPEZ L., L.; ZAMORA M., M. T.; REYES S., M. I.; SANTACRUZ U., H. 2001. Efecto del estado de madurez a la cosecha y ubicación de huertos en la calidad de consumo de frutos de aguacate cv. Hass. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S. C. Coatepec Harinas, Estado de México. 10 p.

CAMPOS, R. E. 2004. Estrategias del mejoramiento genético del aguacate (*Persea americana* Mill). Memoria XVII Curso de actualización frutícola. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S. C. Coatepec Harinas, México. 8p.

CAMPOS R., E.; ESPÍNDOLA B., M.; MIJARES O, P. 2008. Diversidad del género *Persea* y sus usos. Fundación Salvador Sánchez Colín, Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México (CICTAMEX), S.C. Coatepec Harinas, Mex. 65 p.

CAMPOS R., E.; HERNÁNDEZ V., F. L.; ESPÍNDOLA B., M.; REYES A., J. C.; BARRIENTOS P., A. 2011a. Characterizacion of creole mexican avocado (*Persea drymifolia*) as donor seed. Proceedings VII World Avocado Congress 2011. Cairns, Australia. 11 p.

CAMPOS R., E; SANTACRUZ, U. E; FLÓREZ M., A. J; RIVERA G., M; RODRÍGUEZ PÉREZ, J. E. 2011b. Dinámica de la acumulación de

ácidos grasos en aguacate (*Persea americana* Mill.) selección 'Méndez'. Proceedings VII World Avocado Congress 2011. Cairns, Australia. 8 p.

CAMPOS-ROJAS, E., TERRAZAS, T.; LÓPEZ-MATA L. 2007. *Persea* (avocados) phylogenetic analysis based on morphological characters: hypothesis of species relationships. Genetic Resources and Crop Evolution 54:249-258.

CASTRO G., M. I. 2002. Ácidos grasos omega 3: Beneficios y fuentes. Interciencia 27(3):128-136.

CLIFFORD, M. N. 2000. Anthocyanins – nature, occurrence and dietary burden. Journal of the Science of Food and Agriculture 80:1063-1072.

COX, K. A.; MCGHIE, T. K.; WHITE, A.; WOOLF, A. B. 2004. Skin color and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. Postharvest Biology and Technology 31(3): 287-294. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2003.09.008.

DEL CARPIO J., C.; SERRANO F., C.; GIUSTI, M. 2009. Caracterización de las antocianinas de los frutos de *Berberis boliviana* Lechler. Revista de la Sociedad Química de Perú 75(1):76-86.

CRANE, J. H.; BALERDI, C. F. 2012. El aguacate en Florida. Tercera revisión. University of Florida, IFAS extensión, USA. 8 p.

DE LA LUZ SÁNCHEZ-PÉREZ. 1999. Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *In:* Proceedings of Fourth World Avocado Congress. México, 1999. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 7-18.

ESPÍNDOLA B., M. C.; CAMPOS R., E.; REYES A., J. C.; BARRIENTOS P., A. Y MIJARES O., P. 2011. Zonificación agroecológica de aguacates criollos (*Persea drymifolia*) en cuatro estados de México. *In:* Proceedings VII World Avocado Congress. Australia, 2011. 9 p.

FAOSTAT. 2012. Base de datos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas. www.faostat.fao.org. Consultado el 01 de agosto de 2014.

FIELDER, J; BUFLER, G; BANGERTH, F. 1998. Genetic relationships of avocado (*Persea americana* Mill.) using RAPD markers. Euphytica 101:249-255.

GAMBLE, J.; HARKER, R.; JAEGER, S. R.; WHITE, A.; BAVA, CH.; BERESFORD, M.; STUBBINGS, B.; WOHLERS, M.; HOFMAN, P. J.; MARQUES, R.; WOOLF, A. 2010. The impact of dry matter, ripeness and internal defects on consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase. Postharvest Biology and Technology 57:35-43.

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *In:* Current Protocols in Food Analytical Chemistry. Wrolstad, R. E. (ed). John Wiley & Sons, New York. Unit F1.2.

GROSS, J.; GABAI, M.; LIFSHITZ, A. 1972. The carotenoids of the avocado pear Persea americana, Nabal variety. Journal of Food Science 37:589-591.

GUTTERIDGE, J. M. C. 1994. Biological origin of free radicals, and mechanisms of antioxidant protection. Chemico-Biological Interactions 91:133-140.

HARBORNE, J.B.; WILLIAMS, C.A. 2000 Advances in flavonoid research since 1992. Phytochemistry 55: 481–504.

HEIM, K. E.; TAGLIAFERRO, A. R.; BOBILYA, D. J. 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. Journal of Nutritional Biochemistry 13: 572-584.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). 2009a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos - Atlixco, Puebla. México. 9 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI). 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos - Zacatlán, Puebla. México. 9p.

JOHNSON, E. J. 2002. The role of carotenoids in human health. Nutrition in Clinical Care 5(2):56-65.

KATSUBE, N.; KEIKO, I; TSUSHIDA, T.; YAMAKI, K.; KOBORI, M. 2003. Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium mirtillus*) and the anthocyanins. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 68-75.

KING, J. R.; KNIGHT, R. J. 1992. Volatile components of the leaves of various avocado cultivars. Journal of Agricultural and Food Chemistry 40:1182-1185.

KNOTHE, G. 2013. Avocado and olive oil methyl esters. Biomass and bioenergy 58:143-148.

Kosińska, A.; Karamac, M.; Estrella, I.; Hernández, T.; Bartolomé, B.; Dykes, G. A. 2012. Phenolic Compound Profiles and Antioxidant Capacity of *Persea americana* Mill. Peels and Seeds of Two Varieties. Journal of Agricultural and Food Chemistry 60:4613-4619.

KRITCHEVSKY, D.; TEPPER, SHIRLEY A.; WRIGHT, SCOTT; CZARNECKI, SUSANNE K.; WILSON, THOMAS, A.; NICOLOSI, ROBERT J. 2003. Cholesterol vehicle in experimental atherosclerosis 24: avocado oil. Journal of the American College of Nutrition 22(1):52-55.

LAHAV, E.; LAVI, U. 2002. Genetics and classical breeding. *In:* The avocado. Botany, production, and uses. A. Whiley. B. Schafler y B. Wolstenholome (eds.). Wallingford. 36-69 pp.

LEHNINGER, A. L. 2009. Principios de Bioquímica. Ed. Omega Espanha. Quinta edición. 1296 p.

LÓPEZ-LEDESMA, R.; FRATI-MUNARI, A.C.; HERNÁNDEZ-DOMÍNGUEZ, B.C.; CERVANTES-MONTALVO S.; HERNANDEZ-LUNA, M.H.; JUÁREZ, C.; MORAN-LIRA, S. 1996. Monounsaturated fatty acid (avocado) rich diet for mild hypercholesterolemia. Medical Research 27(4):519-523.

LÓPEZ-LÓPEZ, L.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; BEN-YA'ACOV. 1999. Variabilidad genética de los bancos de germoplasma de aguacate preservados en el Estado de México. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 19-23.

MCGUIRE, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience 27:1254-1255.

METCALFE, L. D.; SCHMITZ, A. A. & PELKA, J. R. Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas chromatographic analysis. Analytical Chemistry 38(3): 514-515.

SECRETARÍA DE ECONOMÍA. NORMA MEXICANA NMX-FF-016-SCFI-2006. Productos alimenticios no industrializados para uso humano – fruta fresca – aguacate (*Persea americana* Mill). Especificaciones. www.sagarpa.gob.mx. (Fecha de consulta: 10 de octubre de 2014).

ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS (OCDE). 2004. Normalización internacional de frutas y hortalizas: aguacates (paltas). Francia. 130 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) Y LA FUNDACIÓN IBEROAMERICANA DE NUTRICIÓN (FINUT). 2012. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. España. 204 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). CODEX STAN 197-1995 - Norma Codex para el Aguacate. Codex Alimentarius. México. 5 p.

ORTEGA TOVAR, M.A. 2003. Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. Proceedings V World Avocado Congress. España. pp 741-748.

Ortiz M., A.; Dorantes A., L.; Galíndez M., J.; Cárdenas S., E. 2004. Effect of a novel oil extraction method on avocado (*Persea Americana* Mill.) pulp microstructure. Plant Foods for Human Nutrition 59(1):11-14.

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(1): 79–83.

PRABHA, T. N.; RAVINDRANATH, B.; PATWRDHAN, M. V. 1980. Anthocyanins of avocado (*Persea americana*) peel. Journal of Food Science and Technology 17(5):241-242.

PÉREZ-ROSALES, R.; VILLANUEVA-RODRÍGUEZ, S.; COSÍO-RAMÍREZ, R. 2005. Avocado oil and its nutritional properties. e-Gnosis 3:1-11.

PIETERSE, Z; JERLING, J; OOSTHUIZEN, W. 2003. Avocados (monounsaturated fatty acids), weight loss and serum lipids. South African Avocado Growers' Association Yearbook 26:65-71.

POUDEL, P. R.; TAMURA, H.; KATAOKA, I.; MOCHIOKA, R. 2008. Phenolic compounds and antioxidant activities of skins and seeds of five wild grapes and two hybrids native to Japan. Journal of Food Composition and Analysis 21:622–625.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine 26(9-10): 1231-1237.

REYES A., J. C.; ESPÍNDOLA B., M. C.; BARRIENTOS P., A; CAMPOS R., E.; AGUILAR M., J. J.; ZARATE CH., J. J.; LOPEZ J., A. 2009. Aguacate: Variedades, selecciones y variedades criollas de uso común. Folleto. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura.13 p.

RINCÓN-HERNÁNDEZ, C. A.; SÁNCHEZ PÉREZ J. L.; ESPINOSA-GARCÍA, F. J. 2011. Caracterización química foliar de los árboles de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*) en los bancos de germoplasma de Michoacán, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 395-412.

RINCÓN-HERNÁNDEZ, C. A.; ESPINOSA-GARCÍA, F. J. 2008. Relationship between the phytochemical diversity in creole avocado (*Persea americana* var. *drymifolia*) leaves and the incidence of foliar gall psyllid (*Trioza anceps*). Allelopathy Journal 21:175-182.

RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, D.; SILVA-PLATAS, CH.; ROJO, R. P.; GARCÍA, N.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; GARCÍA-RIVAS, G.; HERNÁNDEZ BRENES, C. 2013. Activity-guided identification of acetogenins as novel lipophilic antioxidants present in avocado pulp (*Persea americana*). Journal of Chromatography B 942:37–45.

SAGRERO-NIEVES, L. J.; BARTLEY, P. 1995. Volatile Components of avocado leaves (*Persea americana* Mill.) from the Mexican race. Journal of the Science of Food and Agriculture 67:49-51.

SALAS, J. J.; SÁNCHEZ, J.; RAMLI, U. S.; MANAF, A. M.; WILLIAMS, M.; HARWOOD, J. L. 2000. Biochemistry of lipid metabolism in olive and other oil fruits. Progress in Lipid Research 39:151-180.

SÁNCHEZ-PÉREZ, J. L. 1999. Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. Revista Chapingo Serie Horticultura 5:7-18.

SECRETARÍA DE ECONOMÍA. 2011. Monografía del sector aguacate en México: situación actual y oportunidades de mercado. México. 22 p.

SHARMA, O. P.; BHAT, T. K. 2009. DPPH antioxidant assay revisited. Food Chemistry 113:1202-1205.

SIAP-SAGARPA. 2012. Base de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx. (Fecha de consulta: 01 de agosto de 2014).

STENDER, S.; DYERBERG, J. 2003. The influence of *trans* fatty acids on health. Fourth edition. The Danish Nutrition Council. Kingdom of Denmark. 86 p.

TANAKA, Y.; SASAKI, N..; OHMIYA, A. 2008. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. The Plant Journal 54(4): 733-749.

VALENZUELA B., A. 2008. Acidos grasos con isomeria *trans* I. Su origen y los efectos en la salud humana. Revista Chilena de Nutrición 35(3):162-171.

VAN DER WERFF, H. 2002. A synopsis of *Persea* (Lauraceae) in Central America. Novon 12: 575-586.

VELÁSQUEZ P., J. A. 2006. Identificación del aguacate como un rubro importante de grandes oportunidades comerciales, según los acuerdos de integración, los nuevos tratados comerciales y el comercio mundial globalizado. Secretaría de productividad y competitividad-Gobernación de Antioquía, Colombia. 103 p.

VILLANUEVA, M.; VERTI, S. 2007. El aguacate: Oro verde de México, orgullo de Michoacán. Proceedings VI World Avocado Congress. Viña del Mar, Chile. 7 p.

WANG, W.; BOSTIC, T. R.; GU, L. 2010. Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. Food Chemistry 122:1193–1198.

WU, H., C.; CHOU, C.; CHANG, T L.; CHEN, I Z. 2007. Genetic relationship estimation of Taiwan avocado cultivars by volatile constituents of leaves. Proceedings VI World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile. pp. 1-14.

ZAMORA-MAGDALENO, M. T.; CAJUSTE-BOMTEMPS, J.; COLINAS-LEÓN, T. B.; SANTACRUZ-U., H. 1999. Efecto de los daños mecánicos sobre el comportamiento postcosecha de fruto de aguacate. *In:* Proceedings of Fourth World Avocado Congress. México, 1999. Revista Chapingo Serie Horticultura 5:319-328.

7 ANEXOS

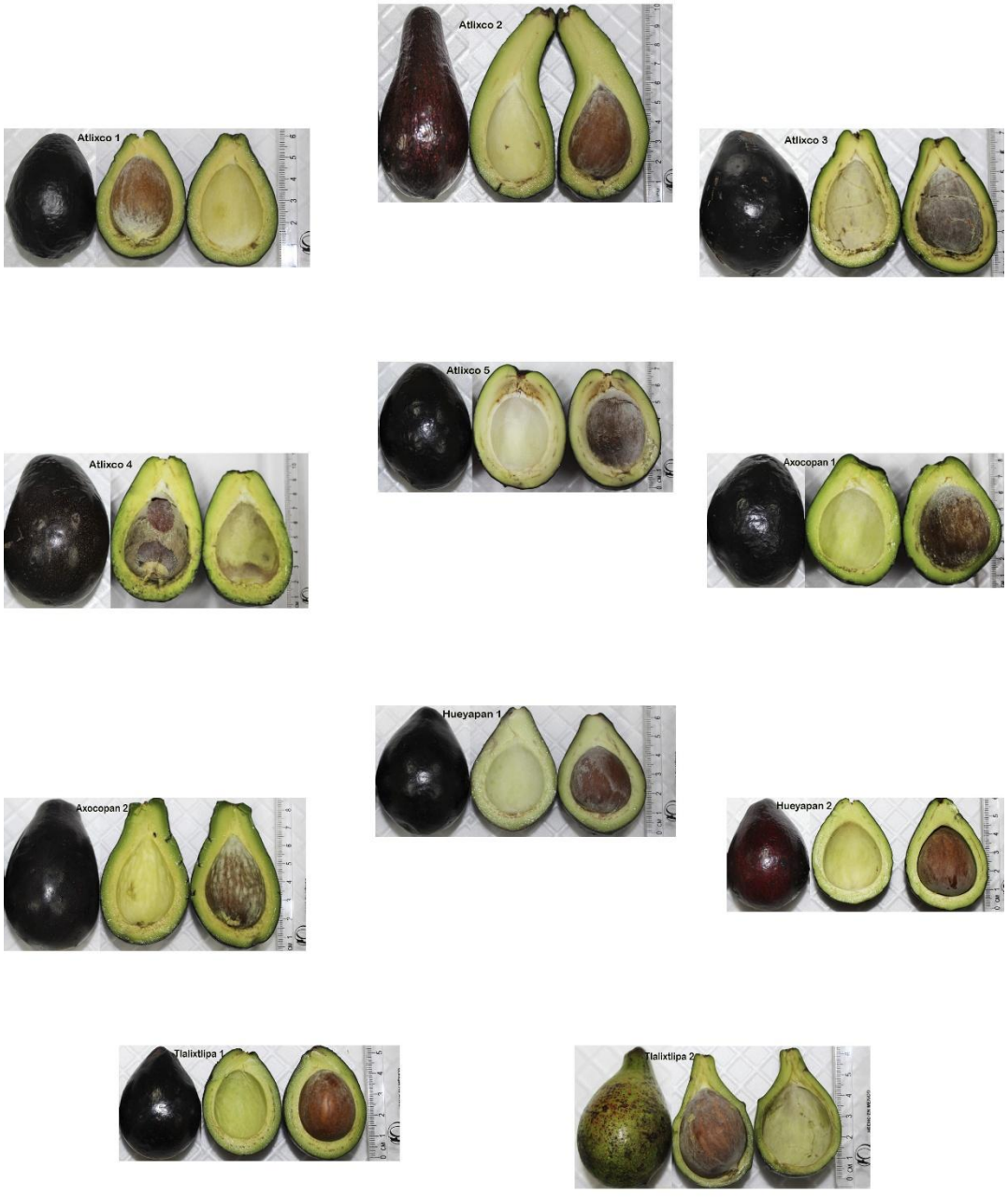


Figura A-1: Accesiones de aguacate criollo colectadas en zonas productoras del Estado de Puebla, Mex.

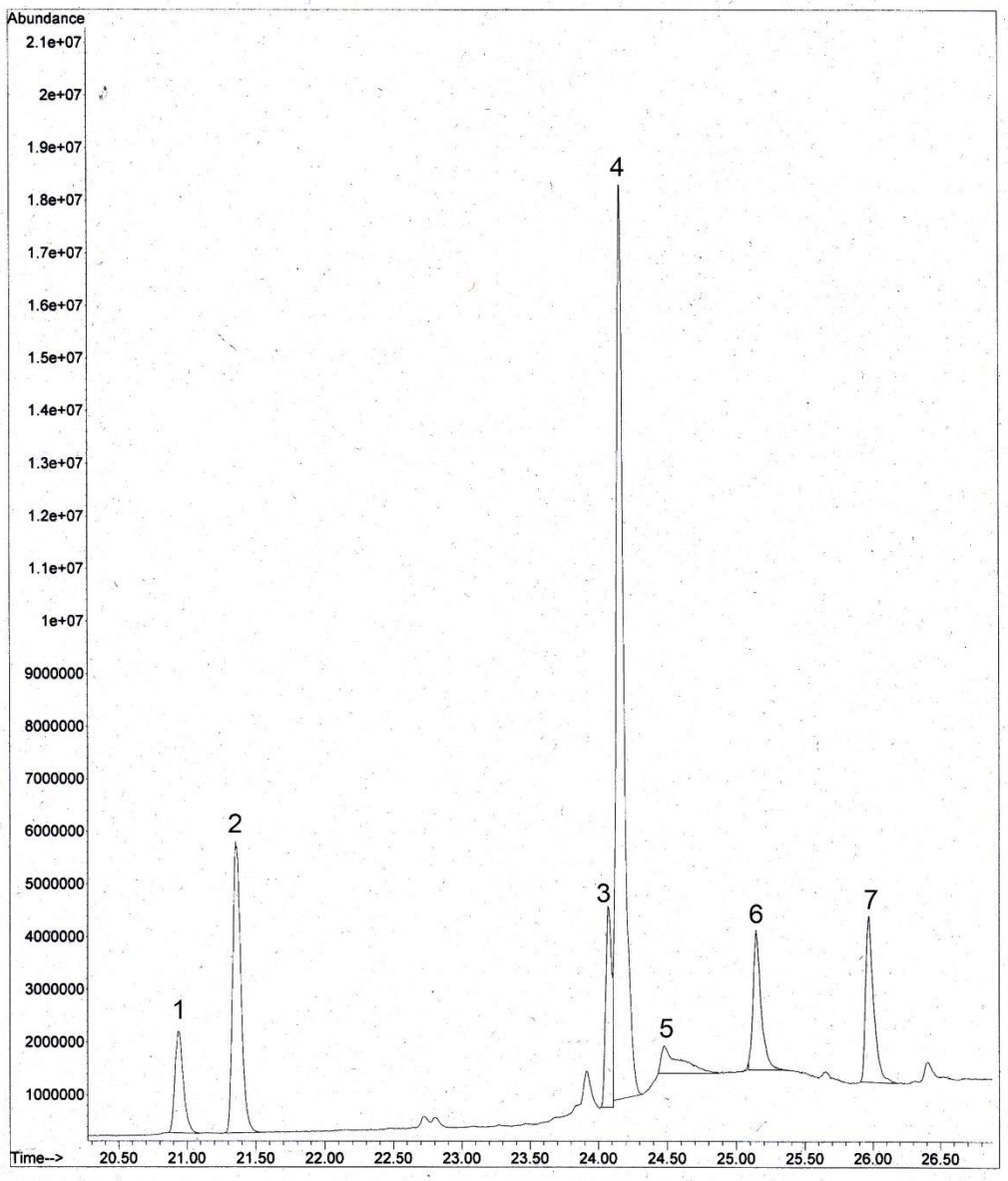


Figura A-2: Cromatograma de análisis por cromatografía de gases acoplado a espectrómetro de masas (CG-EM) de ácidos grasos de aguacate criollo (Accesión Atlixco 2). Picos enumerados de acuerdo al tiempo de retención: 1, A. palmitoleico; 2, A. palmítico; 3, A. linoleico; 4, A. oleico; 5, A. 11-octadecenoico; 6, A. 9,12,15-octadecatrienoico; 7, A. 6,9,12,15-docosatetraenoico.

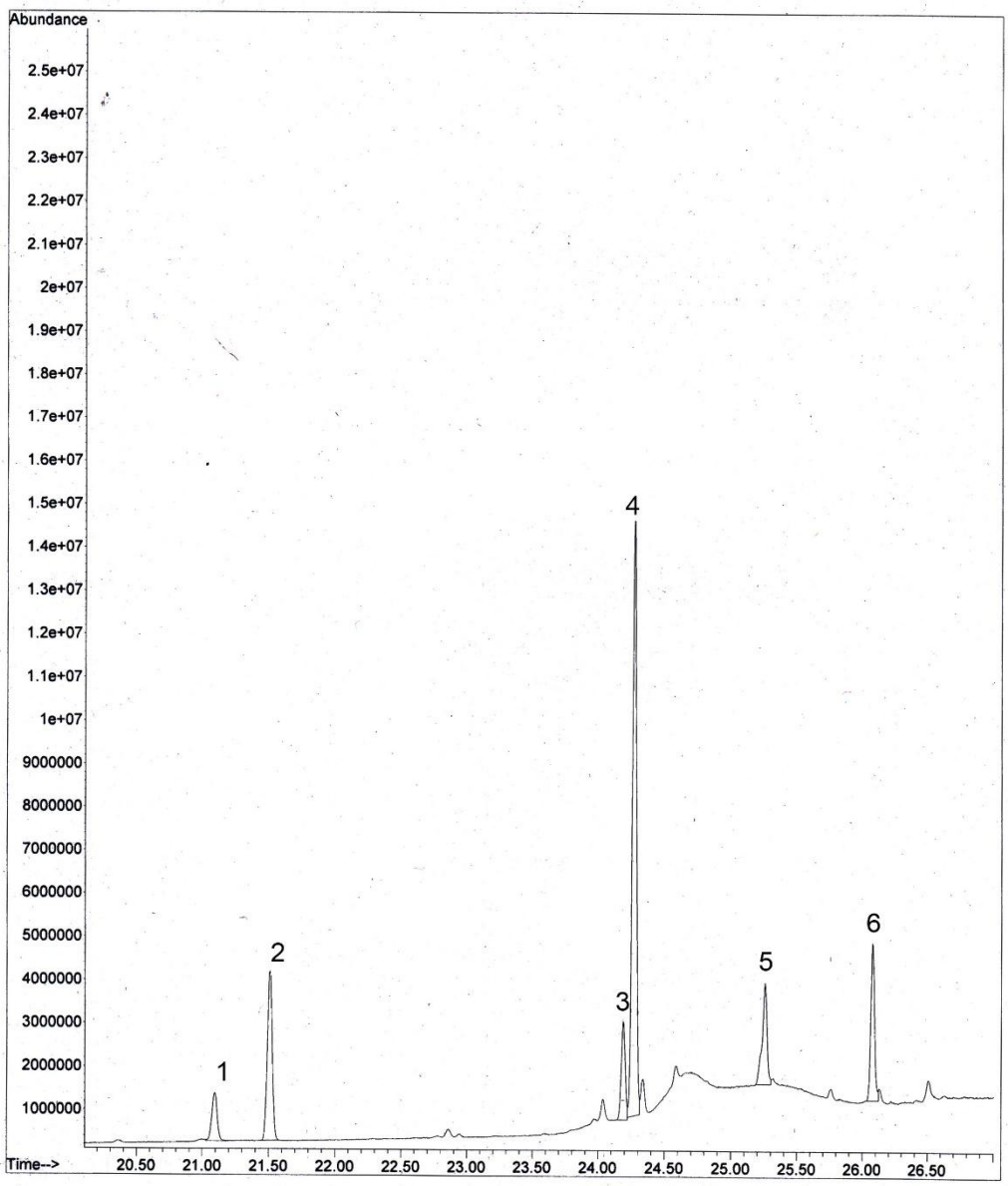


Figura A-3: Cromatograma de análisis por cromatografía de gases acoplado a espectrómetro de masas (CG-EM) de ácidos grasos de aguacate criollo (Accesión Atlixco 3). Picos enumerados de acuerdo al tiempo de retención: 1, A. palmitoleico; 2, A. palmítico; 3, A. linoleico; 4, A. oleico; 5, A. 9,12,15-octadecatrienoico; 6, A. 6,9,12,15-docosatetraenoico.

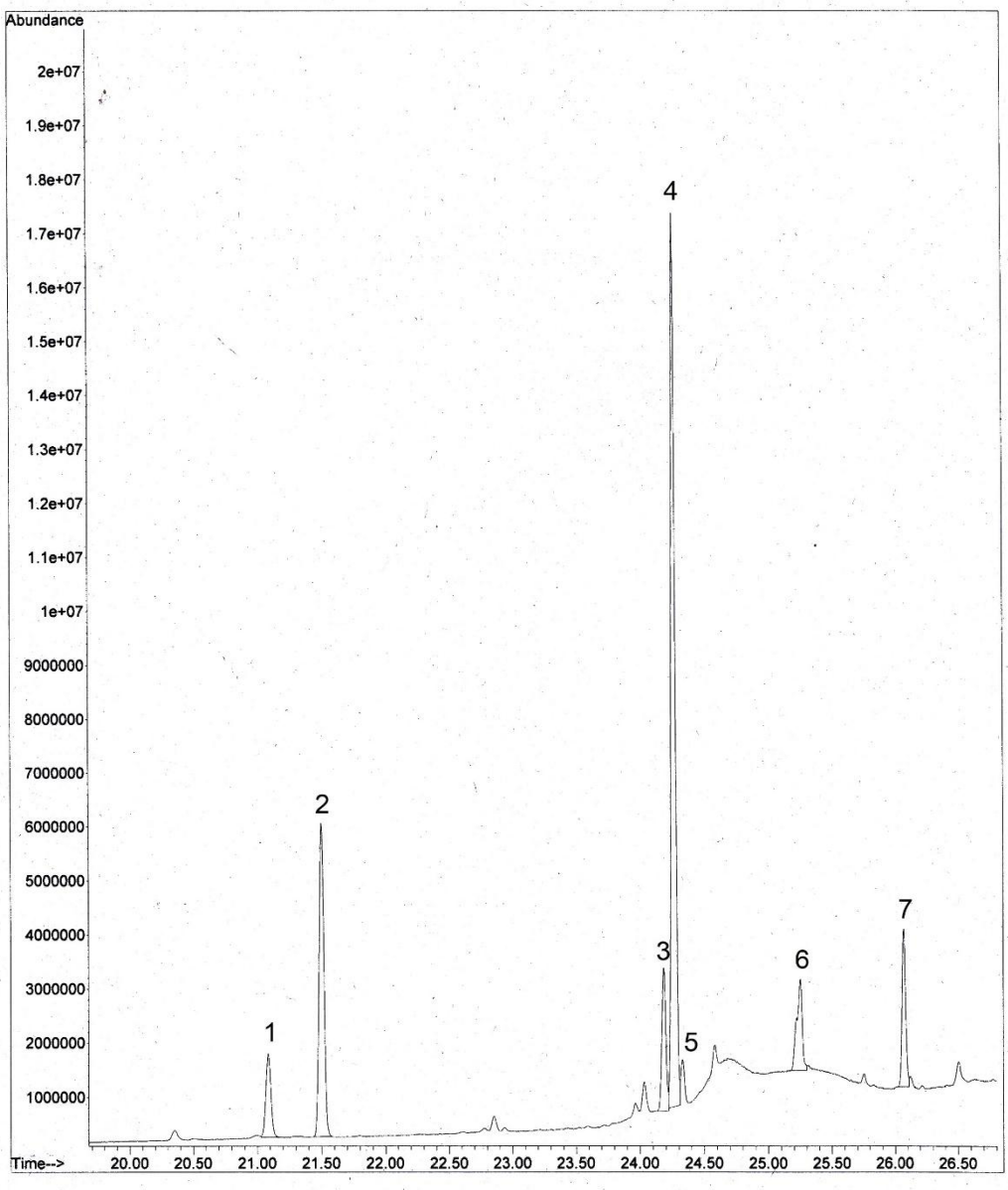


Figura A-4: Cromatograma de análisis por cromatografía de gases acoplado a espectrómetro de masas (CG-EM) de ácidos grasos de aguacate criollo (Accesión Atlixco 5). Picos enumerados de acuerdo al tiempo de retención: 1, A. palmitoleico; 2, A. palmítico; 3, A. linoleico; 4, A. oleico; 5, A. trans-13-octadecenoico; 6, A. 9,12,15-octadecatrienoico; 7, A. 6,9,12,15-docosatetraenoico.