



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE FRUTOS DE *Persea schiedeana***

**Nees DE LA REGIÓN DE HUATUSCO, VERACRUZ**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**



**PRESENTA:**

**JESÚS JÁCOME RINCÓN**

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



**Noviembre de 2014**  
**Chapingo, Texcoco, Estado de México**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE FRUTOS DE *Persea schiedeana***

**Nees DE LA REGIÓN DE HUATUSCO, VERACRUZ**

Tesis realizada por **Jesús Jácome Rincón** 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**

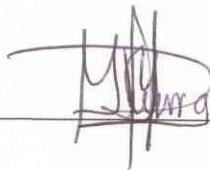
**AGROALIMENTARIA**

Director



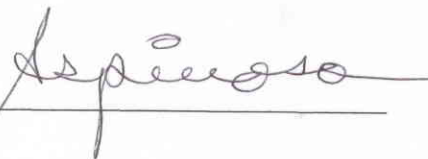
Dr. Juan Guillermo Cruz Castillo

Co-directora



Dra. Diana Guerra Ramírez

Asesor



Dr. Teodoro Espinosa Solares

Chapingo, Estado de México, Noviembre de 2014

*A Dios por regalarme el don de la vida y*

*ponerme en el lugar correcto que*

*lleva a hacer de mí una persona de bien*

*A mi madre Elia Rincón Aguilar que*

*siempre estuvo conmigo aun en la distancia*

*Te amo mamá y te extraño*

*A mi padre Salomé Jácome González por*

*por haberme enseñado a trabajar y*

*apoyarme siempre en mis estudios*

*Gracias papá*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haber financiado mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) por el apoyo económico otorgado para este trabajo de investigación en la etapa final.

Al Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria representado por la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada por su confianza y apoyo brindados.

Al Dr. Juan Guillermo Cruz Castillo por su disposición, apoyo, orientación y por haber puesto su confianza en mí para realizar este trabajo de investigación.

A la Dra. Diana Guerra Ramírez quien pacientemente me apoyó y orientó en el trabajo de investigación.

Al Dr. Teodoro Espinosa Solares por su asesoría, paciencia y facilidades otorgadas durante mi formación académica y trabajo de investigación.

Al Dr. Benito Reyes Trejo por su apoyo y confianza en todo momento.

Al Dr. Holber Zuleta Prada por su amistad y hacer de mi estancia de trabajo en laboratorio una experiencia placentera.

A la señora Esperanza Salinas por orientarme y facilitar siempre los trámites necesarios durante mi estancia en el posgrado.

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

Jesús Jácome Rincón es originario de la localidad de Puentevilla, Zentla, Veracruz. Su educación media superior la realizó en la preparatoria Gral. Francisco J. Múgica de la ciudad de Huatusco, Ver. Sus estudios profesionales los cursó en la Universidad Politécnica de Huatusco, Ver., obteniendo el título de Ingeniero Agroindustrial en abril del 2012. En agosto del 2012 inició sus estudios de Maestría en Ciencias en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria en la Universidad Autónoma Chapingo, titulándose en el mes de noviembre del 2014.

**CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE FRUTOS DE *Persea schiedeana*  
Nees DE LA REGIÓN DE HUATUSCO, VERACRUZ**

**PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF FRUITS OF *Persea*  
*schiedeana* Nees FROM THE REGION OF HUATUSCO, VERACRUZ**

Jácome-Rincón, J., J. G. Cruz-Castillo., D. Guerra-Ramírez., T. Espinosa-Solares

**RESUMEN**

El fruto de *Persea schiedeana* Nees es conocido como chinene y la pulpa es un alimento popular en Mesoamérica. El objetivo de este trabajo fue caracterizar fisicoquímicamente frutos de *Persea schiedeana* Nees de la región de Huatusco, Veracruz y evaluar un método de extracción de aceite de la pulpa del fruto sin el uso de disolventes. Los pesos del fruto y pulpa oscilaron de 164.2 a 264.67 g y de 67.09 a 113 g, respectivamente. Los fenoles totales y actividad antioxidante en la pulpa fueron de 2.99 mg equivalentes de ácido gálico con base en el peso seco (EAG g<sup>-1</sup> bs) y 7.8 μmol equivalentes de Trolox (ET g<sup>-1</sup> bs) respectivamente. El porcentaje de aceite de la pulpa fue de 16.56 a 31.74 %. El rendimiento más alto de aceite fue obtenido de pulpa pretratada con microondas durante dos minutos y centrifugado a 3913 g (71.17 %). Diferencias significativas fueron encontradas en los índices químicos del aceite de chinene ( $p \leq 0.05$ ). El índice de acidez (IA) osciló de 2.62 a 11.6 % de ácido oleico. La extracción asistida con microondas produjo el incremento en el (IA) debido a la hidrólisis de triacilglicéridos como resultado del calentamiento del aceite. Los principales ácidos grasos insaturados del aceite de la pulpa de chinene fueron el oleico y linoleico, 53.7 a 71.6 y 3.45 a 4.73 %, respectivamente.

**Palabras clave:** *Persea schiedeana*, actividad antioxidante, fenoles totales, centrifugado, ácidos grasos, aceite.

**ABSTRACT**

The fruit of *Persea schiedeana* Nees is known as chinene and the pulp is a popular food in Mesoamerica. The objective of this study was to characterize physicochemically fruits of *Persea schiedeana* Nees of the region of Huatusco, Veracruz and to evaluate a method to extract oil from the fruit pulp without using solvents. The fruit weight and pulp ranged from 164.2 to 264.67 g and 67.09 to 113 g, respectively. The total phenols and antioxidant activity in the pulp were 2.99 mg gallic acid equivalents dry weight (GAE g<sup>-1</sup> DW) and 7.8 μmol Trolox equivalents (TE g<sup>-1</sup> DW), respectively. The percent oil in the pulp was from 16.56 to 31.74 %. The highest oil yield was obtained from pulp pretreated with microwaves for two minutes and centrifuged at 3913 g (71.17 %). Significant differences were found in the chemical index of chinene oil ( $p \leq 0.05$ ). Acidity index (AI) was in the range of 2.62 to 11.6 % of oleic acid. The microwave assisted extraction produced an increase in the AI due to the hydrolysis of triacylglycerols as a result of the oil heating. The major unsaturated fatty acids from the oil of the pulp of chinene were oleic and linoleic acid, 53.7 to 71.6 and 3.45 to 4.73 %, respectively.

**Keywords:** *Persea schiedeana*, antioxidant activity, total phenols, centrifugation, fatty acids, oil.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	ii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	iii
LISTA DE CUADROS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE ANEXOS .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Historia del género Persea .....	4
2.2 Importancia del aguacate .....	5
2.3 Uso agroindustrial del aguacate.....	6
2.3.1 Uso no alimenticio .....	6
2.3.2 Uso comestible.....	7
2.4 Extracción de aceites vegetales .....	7
2.4.1 Aceites vegetales.....	7
2.4.2 Extracción de aceite de aguacate .....	9
2.4.3 Centrifugado .....	10
2.4.4 Extracción asistida con microondas.....	11





RESUMEN.....	23
ABSTRACT.....	23
3.1 Introducción.....	24
3.2 Materiales y métodos.....	25
3.2.1 Material vegetal.....	25
3.2.2 Acondicionamiento y caracterización física de los frutos.....	25
3.2.3 Características físicas.....	26
3.2.4 Porcentaje de humedad.....	26
3.2.5 Determinación de aceites totales.....	27
3.2.6 Extracción de aceite.....	27
3.2.6.2 Extracción de aceite mediante centrifugado.....	27
3.2.7 Fenoles totales y actividad antioxidante de la pulpa.....	29
3.2.7.1 Extracción de polifenoles.....	29
3.2.7.2 Ensayo de cuantificación de fenoles totales mediante el reactivo Folin-Ciocalteu.....	29
3.2.7.3 Ensayo DPPH en la pulpa del fruto.....	30
3.2.8 Actividad antioxidante, ensayo DPPH' en aceite de chinene.....	32
3.2.9 Propiedades fisicoquímicas del aceite de chinene obtenido mediante centrifugado.....	33
3.2.9.1 Perfil de ácidos grasos del aceite de chinene.....	33

3.2.10 Índice de acidez, peróxidos, yodo y saponificación .....	34
3.2.10.1 Porcentaje de ácidos grasos libres.....	34
3.2.10.2 Índice de peróxidos. ....	35
3.2.10.3 Índice de yodo. ....	36
3.2.10.4 Índice de saponificación.....	37
3.2.11 Propiedades mecánicas y valor calorífico del aceite de <i>Persea schiedeana</i> Nees .....	37
3.2.11.1 Viscosidad y densidad.....	37
3.2.11.2 Calor de combustión. ....	38
3.2.12 Análisis de resultados .....	38
3.3 Resultados y discusión.....	38
3.3.1 Características físicas.....	38
3.3.2 Aceites totales y humedad .....	40
3.3.3 Extracción de aceite mediante centrifugado .....	42
3.3.4 Fenoles totales y actividad antioxidante de la pulpa.....	44
3.3.4.1 Fenoles totales.....	44
3.3.4.2 Actividad antioxidante de la pulpa.....	45
3.3.5 Actividad antioxidante del aceite de chinene.....	46
3.3.5.1 Ensayo DPPH en aceite.....	46
3.3.6 Propiedades fisicoquímicas del aceite de chinene .....	48

3.3.6.1 Porcentaje de ácidos grasos libres.....	48
3.3.6.2 Índice de peróxidos. ....	49
3.3.6.3 Índice de yodo. ....	50
3.3.6.4 Índice de saponificación.....	51
3.3.6.5 Perfil de ácidos grasos.....	52
3.3.7 Propiedades mecánicas y valor calorífico del aceite de <i>Persea schiedeana</i> Nees .....	54
3.3.7.1 Densidad.....	54
3.3.7.2 Viscosidad dinámica. ....	56
3.3.7.4 Calor de combustión. ....	60
3.3.8 Conclusiones.....	61
IV. CAPÍTULO II. EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA PULPA DE <i>Persea schiedeana</i> Nees MEDIANTE CENTRIFUGADO Y CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS .....	62
RESUMEN.....	62
ABSTRACT.....	62
4.1 Introducción.....	63
4.2 Materiales y métodos.....	65
4.2.1 Material vegetal.....	65
4.2.2 Acondicionamiento de los frutos.....	65

4.2.3 Métodos de extracción de aceite .....	65
4.2.3.1 Extracción mediante centrifugado. ....	66
4.2.4 Determinación de ácidos grasos del aceite de chinene .....	66
4.2.4.1 Extracción Soxhlet. ....	67
4.2.4.2 Perfil de ácidos grasos del aceite de chinene. ....	67
4.2.5 Análisis de datos .....	69
4.3 Resultados y discusión.....	69
4.3.1 Extracción de aceite de la pulpa de chinene mediante centrifugado.....	69
4.3.2 Perfil de ácidos grasos de aceite de chinene obtenido mediante diferentes tipos de extracción .....	71
4.3.3 Conclusiones .....	75
V CONCLUSIONES GENERALES .....	76
VII. LITERATURA CITADA .....	77
VII. ANEXO A .....	90

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del árbol de <i>Persea schiedeana</i> Nees. ....	5
Cuadro 2. Constantes para cálculo de índice de yodo de los ácidos grasos insaturados..	18
Cuadro 3. Colecta de frutos de <i>Persea schiedeana</i> Nees de la región de Huatusco Veracruz. .....	26
Cuadro 4. Descripción de tratamientos para la extracción de aceite de la pulpa de <i>Persea schiedeana</i> Nees. ....	28
Cuadro 5. Pesos frescos de frutos de <i>Persea schiedeana</i> Nees de la región de Huatusco, Veracruz. ....	39
Cuadro 6. Características morfológicas de frutos de <i>Persea schiedeana</i> Nees de la región de Huatusco, Veracruz. ....	40
Cuadro 7. Proporción de peso, pulpa, semilla y cáscara de frutos de <i>Persea schiedeana</i> Nees de la región de Huatusco, Veracruz. ....	40
Cuadro 8. Contenido de aceite total ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), peso seco (%) y humedad (%) de frutos de <i>Persea schiedeana</i> Nees de la región de Huatusco, Veracruz.....	42
Cuadro 9. Extracción de aceite mediante centrifugado.....	44
Cuadro 10 Actividad antioxidante del aceite de chinene obtenido mediante centrifugado. .....	47
Cuadro 11. Índice de acidez y peróxidos del aceite extraído mediante centrifugado de la pulpa de <i>Persea schiedeana</i> Nees. ....	49

Cuadro 12. Índice de yodo y saponificación del aceite extraído mediante centrifugado de la pulpa de <i>Persea schiedeana</i> Nees. ....	51
Cuadro 13. Perfil de ácidos grasos del aceite de la pulpa de <i>Persea schiedeana</i> Nees (muestra Poxtla) extraído mediante microondas y centrifugado.....	53
Cuadro 14. Densidad del aceite de <i>Persea schiedeana</i> Nees a 20 ° C obtenido mediante centrifugado.....	55
Cuadro 15. Viscosidad dinámica del aceite de <i>Persea schiedeana</i> Nees a 20 °C obtenido mediante centrifugado.....	57
Cuadro 16. Calor de combustión del aceite de <i>Persea schiedeana</i> Nees obtenido mediante centrifugado.....	61
Cuadro 17. Tratamientos para la extracción de aceite de la pulpa de <i>Persea schiedeana</i> Nees mediante centrifugado.....	66
Cuadro 18a. Perfil de ácidos grasos de aceite de chinene obtenido con diferentes métodos de extracción. ....	73
Cuadro 18b. Perfil de ácidos grasos de aceite de chinene obtenido con diferentes métodos de extracción (continuación).....	74

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de la densidad del aceite de chinene de los tratamientos T 1, T 7 y T 8, y de aceite de girasol AG1 (Esteban <i>et al.</i> , 2012) y AG2 (García-Zapateiro <i>et al.</i> , 2013). .....	56
Figura 2. Comparación de la viscosidad dinámica del aceite de chinene de los tratamientos T 1, T 7 y T 8, y de aceite de girasol AG1 (Esteban <i>et al.</i> , 2012).....	58
Figura 3. Comparación de la viscosidad cinemática del aceite de chinene de los tratamientos T 1, T 7 y T 8, y de aceite de girasol (AG1) (Esteban <i>et al.</i> , 2012). .....	59
Figura 4. Porcentaje de extracción de aceite de la pulpa de chinene mediante centrifugado. ....	70

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Perfil de ácidos grasos del aceite de dos colectas de <i>Persea schiedeana</i> Nees procedentes del municipio de Huatusco, Veracruz. ....	90
--	----

## I. INTRODUCCIÓN

*Persea schiedeana* Nees es un árbol frutal nativo de Mesoamérica que se distribuye desde las regiones centrales y sur de México hasta Panamá sobre una variedad de tipos de suelos (Chanderbali, 2013), al igual que el aguacate pertenece a la familia *Lauraceae*; ambas especies guardan estrecha relación botánica (Reyes-Alemán *et al.*, 2011) y se diferencian por su pubescencia en flores y yemas (Smith *et al.*, 1992), además los frutos tienen menor cantidad de pulpa con sabor y textura particulares (Werff, 2002); esta especie se distribuye en bosques y praderas desde los 90 hasta 2000 metros de altitud y algunas veces es utilizado como árbol de sombra en cafetales (Vargas-Martínez *et al.*, 2012).

En México, se le conoce como chinene, aguacate de manteca, chinin, escalar o pagua, y crece en forma silvestre principalmente en los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Veracruz y el sur de Tamaulipas (Cruz-Castillo *et al.*, 2007). Los frutos de huertos familiares son para el autoconsumo y se comercializan en los mercados regionales, la pulpa del fruto es un alimento popular en Mesoamérica, se consume untada en tortillas de maíz (Cruz-Castillo *et al.*, 2007).

En general, los estudios relacionados con el fruto de *Persea schiedeana* son escasos. A la fecha se ha investigado el contenido mineral de frutos provenientes de árboles de la República de El Salvador (Munsell *et al.*, 1950), el ataque del coleóptero *Heilipus lauri* que barrena al fruto (Castañeda-Vildózola *et al.*, 2009), la madurez y cambios fisicoquímicos en postcosecha (Del Ángel-Coronel *et al.*, 2010) y su morfología (longitud,



diámetro, color de la pulpa y cáscara), peso y la composición en términos de materia seca, fibra y aceite. *Persea schiedeana* tiene un valor reconocido como fruto de consumo con oportunidad de incrementar su producción para estimular las economías locales mediante la venta en fresco así como su aprovechamiento agroindustrial con la extracción de aceite de la pulpa (Joaquín-Martínez *et al.*, 2007). También tiene el potencial de contribuir a la seguridad alimentaria y la economía agrícola local en el trópico mediante la introducción de selecciones superiores (Bost, 2013).

La producción de aceites comestibles mediante procesos de extracción se ha incrementado en gran medida debido a su alta demanda y consumo y la disponibilidad progresiva de equipos y tecnología más eficiente (Landucci *et al.*, 2013). La extracción convencional de aceite vegetal se lleva a cabo mediante prensado o extracción con disolventes, la extracción con disolventes es el método más eficiente, sin embargo, su aplicación presenta desventajas industriales como problemas de seguridad, emisiones de compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera donde el disolvente típico es hexano (Landucci *et al.*, 2013), que es altamente inflamable, el uso de disolventes incrementa costos de operación y los productos obtenidos son de baja calidad debido a las altas temperaturas (Uquiche *et al.*, 2008). Los residuos de los disolventes en el aceite representan un riesgo para la salud del consumidor, asimismo las temperaturas aplicadas durante el proceso pueden destruir algunos de los nutrientes en el aceite (Ortiz *et al.*, 2004).

Entre las alternativas para aislar aceites a partir de la pulpa de aguacate se encuentra la extracción mediante centrifugado (Werman y Neeman, 1987) y la extracción combinada asistida por microondas y prensado mecánico (Moreno *et al.*, 2003). El propósito de la extracción de aceite mediante centrifugado es extraer la cantidad máxima de aceite del

mesocarpio sin dañar la calidad del aceite (Human, 1987), basándose fundamentalmente en la diferencia y miscibilidad entre la fase oleosa ligera y la fase sólida, de modo que al ser expuesta en la centrífuga a las fuerzas  $g$  o gravedad durante largos periodos de tiempo, el aceite se separará en una capa sobre la disolución acuosa y restos de sólidos (Bizimana *et al.*,1993).

Rendón-Cantillano (2003) extrajo el aceite de la pulpa de chinene utilizando éter de petróleo mediante el equipo Soxhlet, obteniendo una eficiencia del 67.48 % con base en el peso seco de la pulpa, Campos-Hernández *et al.* (2011) obtuvieron un rendimiento del 12.12 %, (con base en el peso húmedo) de aceite al ser extraído mediante maceración en isopropanol y hexano. Sin embargo no se ha evaluado la extracción de aceite de la pulpa de chinene mediante centrifugado o utilizando microondas como pretratamiento a la pulpa antes de la extracción.

De acuerdo con Bost *et al.* (2013) las perspectivas de industrialización para el aceite de aguacate y de chinene son muy amplias en el mundo por lo cual es necesario obtener un método para la extracción de aceite de *Persea schiedeana* con bajos riesgos ambientales y sin detrimento de su calidad.

El propósito de esta investigación fue la de caracterizar fisicoquímicamente frutos de *Persea schiedeana* Nees así como evaluar un método de extracción de aceite de la pulpa sin la utilización de disolventes.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Historia del género *Persea*

La evidencia material más antigua del uso de *Persea* para consumo humano proviene de cotiledones encontrados en la cueva Coxcatlán ubicada en Tehuacán, Puebla, México, la cual data del año 8000-7000 AC (Smith, 1966), sin embargo se cree que fueron colectados en montañas aledañas a la Sierra de Zongolica, un área rica en la diversidad de *Persea* y contigua a los bosques del volcán Pico de Orizaba, los cuales se piensa que jugaron un papel importante en los orígenes de la raza de aguacate Mexicana así como de *Persea schiedeana* (Smith *et al.*, 1992). El aguacate fue dispersado al inicio por la megafauna, más tarde por cazadores y recolectores y subsecuentemente adoptado por la creciente y dispersa población de Mesoamérica, Centroamérica y de la parte noroeste de Sudamérica; quienes posteriormente lo expandieron e influenciaron la evolución del árbol con selección para frutos y genotipos adaptados a los climas en donde se asentaron las poblaciones (Bost *et al.*, 2013).

*Persea schiedeana* Nees fue reconocido en la década de los sesentas como una especie en el subgénero *Persea*: *P. flocosa*, *P. schiedeana* Nees, *P. steyermarkiana* C.K. Allen y *Persea americana* (Kopp, 1966) (Cuadro 1), en el contexto actual solo tres especies son reconocidas en este subgénero: *P. schiedeana* Nees, *P. pallences* y *P. americana*. El árbol de *Persea schiedeana* alcanza hasta los 30 metros de altura, es de copa amplia, con uno o dos frutos en los extremos de las ramas, con formas de cuello alargado a piriforme hasta forma redonda; alcanzando longitudes de 5 a 10 cm en la madurez, con exocarpio de color

verde claro u oscuro, amarillento o café hasta negro purpura, semilla de forma variada, esferoide u ovada, frecuentemente grande. Es fácilmente identificable por sus flores grandes con pedicelos largos y por sus racimos de hojas grandes (Chanderbali, 2013).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del árbol de *Persea schiedeana* Nees.

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Angiospermae
<b>Orden</b>	Laurales
<b>Familia</b>	Lauraceae
<b>Género</b>	Persea
<b>Especie</b>	schiedeana
<b>Nombre científico</b>	<i>Persea schiedeana</i> Nees (Standley y Steyermark, 1946).

## 2.2 Importancia del aguacate

El chinene es del subgénero *Persea* al que pertenece el aguacate *Persea americana* Mill (Lahav y Lavi, 2013), con el cual está cercanamente relacionado (Werff, 2002). El aguacate ha sido consumido en Mesoamérica por grupos humanos desde tiempos prehistóricos, es probable que algunas culturas prehispánicas como los Olmecas lo hayan utilizado como producto de comercio; también el aguacate era vendido entre otras frutas en el tianguis de Tlatelolco y para la época colonial algunos cronistas hicieron descripciones de plantas nativas, entre ellas el aguacate (Galindo-Tovar *et al.*, 2007).

Desde tiempos ancestrales el aguacate ha jugado un papel importante en la dieta de las culturas nativas de Mesoamérica, la existencia de nombres locales para el aguacate en estas culturas revela la importancia y uso de esta planta; el primer uso del aguacate fue como un alimento rico en energía al comerse en fresco, de tal forma que los primeros americanos pudieron haber sido atraídos por *Persea* debido a que contenía más aceite que

cualquier otra fruta del Nuevo Mundo. Posteriormente pasó también a ser ingrediente de salsas como el guacamole y comido untado en tortillas de maíz (Coe, 1994). El aguacate es ampliamente consumido como alimento en el mundo y también es usado con propósitos medicinales. Los beneficios a la salud del aguacate puede deberse a su contenido de 20 nutrientes esenciales y varios fitoquímicos con potencial para prevenir el cáncer (Ding *et al.*, 2007).

El aguacate es una fruta climatérica caracterizada por el aumento en la producción de etileno en el inicio de la maduración, es una de las frutas que más rápido maduran, en algunos casos de 5 a 7 días después de la cosecha (Seymour y Tucker, 1993). La fruta no madura mientras está adherida al árbol, por lo que debe cosecharse para que alcance la madurez de consumo (Barrientos-Priego *et al.*, 1996).

## **2.3 Uso agroindustrial del aguacate**

### **2.3.1 Uso no alimenticio**

Los aguacates son una fuente rica de nutrientes y fitoquímicos, extractos de la pulpa y la cáscara han sido utilizados para usos medicinales, Yasir *et al.* (2010) mencionan que los extractos tienen actividad vaso relajante, analgésica y antiinflamatoria, además de usos como antiviral y para curación de heridas en animales. La pulpa de aguacate en polvo tiene demanda en la industria cosmética, también la pulpa residual proveniente de la extracción de aceite ha sido utilizada como alimento para ganado (AvoPure, 2013). Entre otros usos el aceite de la pulpa fue analizado por (Knothe, 2013) como combustible, encontrando que es de alta calidad y es similar a las propiedades de los esteres metílicos de aceites vegetales.

### **2.3.2 Uso comestible**

En México la pulpa del aguacate es consumida en fresco acompañando una gran variedad de platillos tradicionales de la comida mexicana, también se utiliza como suplemento del contenido de grasa en aderezos congelados, helados y batidos (Paull y Duarte, 2011). También se produce pulpa procesada, deshidratada, pulpa empacada al vacío y guacamole congelado. Un producto obtenido del aguacate es el aceite, que es usado como aderezo o para cocinar (Bost *et al.*, 2013). La evidencia de estudios epidemiológicos sugiere que el consumo de aguacate coadyuva a disminuir el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas (Meyer *et al.*, 2011).

## **2.4 Extracción de aceites vegetales**

### **2.4.1 Aceites vegetales**

Una porción importante de los aceites vegetales y grasas para consumo humano proviene de las plantas. La segunda fuente de aceites vegetales, después de las semillas oleaginosas, son los árboles productores de frutos con aceite, como el olivo, cocotero, la palma y el aguacate, de los cuales el aceite es extraído de la pulpa del fruto, más que de la semilla (O'Brien, 2004).

De acuerdo al Departamento de Agricultura de Estados Unidos, los aceites vegetales pueden ser clasificados en tres categorías, basados en su producción, uso y volumen: aceites mayores, aceites menores y aceites no comestibles (Honary, 2010). Los aceites mayores son aquellos conocidos para consumo humano o animal y juegan un papel importante en la economía en las regiones donde se producen, entre estos se incluyen los aceites de soya, palma, girasol, canola, algodón, coco, olivo, ajonjolí, cacahuate, lino, almendra. Los aceites menores son los conocidos por sus usos pero que no igualan la

producción de los primeros, estos aceites tienen perfiles de ácidos grasos que puede hacerlos efectivos para uso industrial; entre ellos se incluyen la semilla niger, amapola, semilla de cacao, karité, sebo vegetal chino, mahogany de Etiopia, semilla de mango, semilla de uva, ajonjolí alemán, semilla de sandía, aguacate y semilla de albaricoque. Los aceites no comestibles comprenden la tercera categoría donde el aceite es extraído exclusivamente para uso industrial y son aprovechados por su composición química en la fabricación de jabones, pinturas, barnices, resinas, plásticos y en agroquímicos, asimismo son utilizados como lubricantes industriales (Atabani *et al.*, 2013). Ejemplos de estos aceites incluyen lino, neem, mahua, karanja, kusum, jatropha, entre otros.

Los aceites vegetales juegan un papel sensorial y funcional importante en productos alimenticios, actúan como transportador de vitaminas liposolubles como la A, D, E y K, a su vez proveen de energía y ácidos grasos esenciales como el linoleico y linolénico, también son parte de los ingredientes para fabricación de jabones, cosméticos y productos farmacéuticos (Fasina y Colley, 2008). La calidad y química del aceite depende del cultivar, madurez, condiciones agronómicas entre otros factores (Davis *et al.*, 2008). Las principales fuentes de lípidos consumidos como alimentos son tejidos animales y las semillas de oleaginosas, nueces, vegetales y frutas (Sabikhi y Kumar, 2012).

Los frutos con aceite de importancia comercial son el olivo y la palma. El aceite de olivo es extraído antes de que la acidez aumente y afecte su calidad. Los olivos son triturados o molidos para obtener una pasta después de ser separados de materia extraña. La molienda libera el aceite contenido en las células permitiendo al aceite formarse en gotas de mayor tamaño. Para la extracción del aceite de la pasta se utilizan tres procedimientos generales: prensas hidráulicas, centrifugas continuas y filtrado por adhesión. El equipo de filtrado

por adhesión tiene una serie de aspas de acero que son sumergidas dentro de la pasta de olivo y después son retiradas, entonces el aceite gotea de las aspas y es recuperado (Di Giovacchino, 2000).

El aceite de palma es obtenido mediante cocimiento y prensado. Es esterilizado con vapor a temperaturas entre 130 a 145 °C durante una hora para inactivar enzimas hidrolíticas, liberar las frutas y preparar las etapas siguientes. Las frutas esterilizadas son separadas del racimo mediante agitación vigorosa, después son recalentadas de 95 a 100°C durante 20 a 30 minutos en un digestor para liberar el pericarpio y romper las células de aceite. Las fases líquida y semisólida son separadas en una prensa de tornillo, la fase líquida es centrifugada y secada al vacío para remover la humedad (Dijkstra, 2013).

#### **2.4.2 Extracción de aceite de aguacate**

El aceite de aguacate es obtenido del mesocarpio del árbol de aguacate (*Persea americana*), el cual ha sido de especial interés en aplicaciones nutricionales y fisiológicas como cosméticos (Eyres, 2009). En su contenido de aceite el fruto de aguacate es solamente superado por frutos de palma y olivo (Werman y Neeman, 1987).

El aceite de aguacate crudo es usualmente de color verde esmeralda oscuro debido a su alto contenido de clorofila, al ser refinado cambia a amarillo verdoso, aunque el aceite refinado es preferido para uso alimenticio, el aceite es apreciado en usos culinarios además por sus potenciales beneficios a la salud (Wong *et al.*, 2011).

De acuerdo con Human (1987) se han propuesto diversos métodos de extracción del aceite de la pulpa de aguacate, entre los cuales se incluye: la extracción mediante prensado utilizando presiones desde 3000 a 4000 psi (libras por pulgada cuadrada), calentamiento



de la pulpa bajo una corriente de vapor a presión y posterior prensado de la pulpa, prensado hidráulico de rebanadas secas seguida de extracción con disolventes de los aceites remanentes en la torta, liofilizado de la pulpa y prensado hidráulico, calentamiento de la pulpa seguida de prensado hidráulico.

También se ha extraído aceite de aguacate mediante secado de la pulpa y prensado a altas temperaturas con disolventes orgánicos, y la extracción mediante separación por fuerza centrífuga, este último ha sido utilizado para reducir costos de energía y minimizar la contaminación causada por los disolventes orgánicos (Werman y Neeman, 1987).

### **2.4.3 Centrifugado**

Centrifugado es el nombre dado a las aplicaciones de separación que consisten en producir el giro alrededor de un eje para generar la fuerza centrífuga, de esta forma se incrementa el campo gravitacional, la separación acelerada es posible por el efecto de la fuerza centrífuga (Berk, 2009). La extracción de aceite de aguacate mediante centrifugado consiste en la separación de una mezcla agua-pulpa a la cual se le ha dado diversos tratamientos para evaluar el rendimiento de extracción. Buenrostro *et al.* (1986) mencionan que la utilización de enzimas permiten recuperar hasta el 74 % del total de aceites, utilizando una velocidad de centrifugado de 12300 g. También se han utilizado sales inorgánicas añadidas a la mezcla agua-pulpa como cloruro de sodio al 5 % además de ajustar el pH de la pulpa a 5.5, produciendo un porcentaje de aceite del 75.3 %, también sin adición de sal se obtuvo 72.7 % de aceite (Werman y Neeman, 1987). Bizimana *et al.* (1993) recomendaron añadir carbonato de sodio ( $\text{CaCO}_3$ ) o sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) al 5 % y pH 5.5 de la pulpa para obtener rendimientos de 70 % aproximadamente, con centrifugado a 12300 g.

#### **2.4.4 Extracción asistida con microondas**

La extracción asistida con microondas es una de las técnicas importantes para la extracción de compuestos valiosos de materiales vegetales y es adaptable a pequeña o gran escala (Zhang *et al.*, 2011), esta puede ser afectada por una gran cantidad de factores como, energía y frecuencia de microondas, duración de la radiación, contenido de humedad y tamaño de partícula de la muestra, tipo y concentración del disolvente, temperatura, presión, y número de ciclos de extracción (Wang y Weller, 2006). Combinando microondas con otras técnicas podría superar las limitaciones de las técnicas de extracción simple y obtener una eficiencia satisfactoria (Rostagno *et al.*, 2010).

Se ha utilizado microondas para la deshidratación de la pulpa de aguacate y posterior extracción de aceite, Jiménez *et al.* (2001) mencionan la obtención del 87.5 % de los aceites totales de aguacate Hass. Moreno *et al.* (2003) obtuvieron rendimientos del 97 % utilizando la extracción combinada microondas-hexano, la pulpa de aguacate fue pretratada con microondas convencional, seleccionando la potencia máxima y posteriormente sometida a extracción exhaustiva con el equipo Soxhlet, a su vez utilizaron la técnica combinada microondas y prensado mecánico donde obtuvieron una recuperación del 65.2 %, cada una de las técnicas modificaron las características físicas y químicas del aceite de aguacate.

#### **2.4.5 Prensado en frío**

El aceite de aguacate es extraído utilizando medios mecánicos o físicos a temperaturas por debajo a los 50 ° C, similar a los métodos de extracción de aceite de olivo extra virgen. La pulpa es molida seguida de malaxación con o sin agua a menos de 50 ° C, posteriormente las fases sólida y líquida son separadas, el aceite es recuperado de la fase

liquida mediante centrifugación (Wong *et al.*, 2008). El aceite de aguacate prensado en frío tiene una composición de lípidos similar a la del aceite de olivo obtenido de la misma forma con aproximadamente 75 % de ácidos grasos monoinsaturados, 10 % monoinsaturados y 15 % de saturados, con variaciones dependiendo del cultivar, región de cultivo y temporada (Wong *et al.*, 2011). En Nueva Zelanda, Sudáfrica y México se ha extraído el aceite de aguacate de la pulpa mediante macerado en frío, filtrado y embotellado (Olaeta, 2003).

#### **2.4.6 CO<sub>2</sub> supercrítico**

Un fluido es considerado en estado supercrítico cuando el sistema de presión y temperatura están por encima de su punto crítico, en esta región el fluido puede ser considerado como un líquido expandido o un gas comprimido, el fluido supercrítico más usado es el CO<sub>2</sub>, tiene temperatura crítica baja (menor a 60 ° C), permite operaciones cercanas al ambiente y presión crítica media; es un producto no tóxico ni inflamable y es un buen disolvente para compuestos hidrofóbicos o ligeramente hidrofílicos (Meireles *et al.*, 2008). Este método ha sido aplicado para la extracción de aceite de la pulpa de aguacate (Mostert *et al.*, 2007), la pulpa liofilizada es colocada en un extractor de CO<sub>2</sub> supercrítico aplicando temperaturas menores a 50 ° C y presión de 240 bar. Con esta metodología se han obtenido rendimientos de 55 % de aceite con base en el peso seco (Logara *et al.*, 2008). La extracción mediante CO<sub>2</sub> supercrítico provee la extracción de ácidos grasos insaturados, escualenos, esteroides y tocoles de diferentes fuentes vegetales sin contaminación alguna de disolventes (Feral *et al.*, 2007).

## **2.5 Importancia del aceite de aguacate**

El aceite extraído de la pulpa puede ser muy importante en el futuro de *Persea*. En países como México, Israel y Sudáfrica, el aceite es obtenido de frutos de desecho mediante el uso de disolventes, el disolvente se evapora y el aceite se somete a blanqueado y deodorizado. El aceite de aguacate tiene valor para la industria cosmética por su alto contenido de vitamina E y propiedades emolientes. También ha sido obtenido mediante el método de extracción acuosa y comercializado como aceite culinario extraído “naturalmente” (Wong *et al.*, 2008). La extracción por prensado en frío con aguacate Hass se ha realizado en unidades de procesamiento de olivo en Nueva Zelanda (Eyres, 2009). En Chile y California, E.U., también han comenzado a producir aceite de aguacate prensado en frío con alta calidad para su consumo. El aceite ha sido usado como aderezo en ensaladas, debido a su semejanza con el aceite de olivo, en lo que respecta a su sabor y composición química así como en su fácil digestión, también es recomendado para cocinar debido a que su temperatura de vaporización es mayor a 250 °C (Wong *et al.*, 2010).

## **2.6 Aceite de chinene**

El aceite de chinene ha sido extraído de la pulpa mediante disolventes, Rendón-Cantillano (2003) realizó la extracción utilizando éter de petróleo como disolvente mediante el equipo Soxhlet, donde obtuvo el 67.48 % de aceite con base en el peso seco, el aceite presentó un promedio del 53 al 64 % de ácido oleico, seguido del ácido palmítico y linoleico, 23.8 a 27.54 % y 7.92 a 11.23 %, respectivamente. Campos-Hernández *et al.* (2011) utilizaron la extracción por maceración con isopropanol y hexano, con rendimientos del 12 %. El aceite de chinene presenta en su composición química la

vitamina E, además su coloración verde sugiere la presencia de clorofilas, las cuales son pigmentos antioxidantes presentes en aguacate Hass (Ashton *et al.*, 2006).

## **2.7 Análisis de composición de aceites**

Las propiedades químicas y físicas de las grasas y aceites son extensamente determinadas por los ácidos grasos que contienen y su posición en la molécula de triacilglicerol. Químicamente todos los aceites son ésteres de glicerina y ácidos grasos, no obstante; las propiedades físicas de aceites naturales varían ampliamente debido a que: las proporciones de los ácidos grasos cambian en intervalos amplios y la estructura del triacilglicerol varía para cada aceite individual (O'Brien, 2004). Las grasas y aceites son comúnmente nombrados como triglicéridos porque la molécula de glicerina tiene tres grupos hidroxilo donde un ácido graso puede estar unido. Todos los triglicéridos tienen la misma unidad de glicerina, así que es el ácido graso el que contribuye a las distintas propiedades. Los ácidos grasos son distinguidos de tres formas: largo de la cadena de carbono, número y posición de los enlaces dobles y posición de los ácidos grasos en la molécula de glicérido. Las variaciones en estas características son responsables de las diferencias químicas y físicas encontradas en las grasas y aceites comestibles (Kevin y David, 2003).

La estructura de un ácido graso puede ser denotada por un nombre sistemático de acuerdo a la nomenclatura del hidrocarbano principal, por su nombre bioquímico, nombre común, o por una designación corta mostrando el número de átomos de carbono y número de dobles enlaces. La longitud de la cadena de carbonos de los ácidos grasos varía entre 4 a 24 átomos de carbono, con hasta seis dobles enlaces (Harwood y Scrimgeour, 2007). Los ácidos grasos saturados más prevalentes son: laurico (C-12:0), mirístico (C-14:0), palmítico (C-16:0), esteárico (C-18:0), araquídico (C-20:0), behénico (C-22:0) y

lignocérico (C-24:0). Los ácidos grasos monoinsaturados más importantes son: oleico (C-18:1) y erúcido (C-22:1). Los ácidos grasos polinsaturados son: linoleico (C-18:2), linolénico (C-18:3), eicosapentanoico (EPA) (C-20:5) y docosahexaenoico (DHA) (C-22:6) (Kelly y Kuang, 2007).

El consumo de ácidos grasos saturados incrementa las concentraciones de lipoproteínas de baja densidad y colesterol en la sangre, en comparación con ácidos grasos insaturados como oleico y linoleico (Ratnayake y Zehaluk, 2005). La composición de las grasas y aceites naturales cambia significativamente dependiendo, no solamente de las especies animales o vegetales, sino también entre las mismas especies. Entre los factores que afectan la composición de los ácidos grasos de aceites vegetales están las condiciones climáticas, tipo de suelo, madurez de la planta, salud de la planta, condiciones microbiológicas, ubicación de la semilla en la flor y variaciones genéticas de las plantas (Lucie y Pokorny, 2002).

Los métodos para determinar la composición de los aceites son importantes no solamente por el contenido de ácidos grasos y el patrón de distribución de glicéridos elaborado por las plantas, sino también porque el carácter físico y uso final está directamente relacionado con su composición (O'Brien, 2004).

### **2.7.1 Índice de saponificación**

El índice de saponificación es una medida de los grupos reactivos álcali, es usado para predecir el tipo de glicéridos en una muestra. Los glicéridos que contienen ácidos grasos de cadena corta (mirístico y palmítico) tienen valores de saponificación más altos que aquellos que contienen ácidos grasos de cadena más larga (oleico, linoleico y linolénico). Sin embargo los resultados encubren demasiado para identificar aceites individualmente,

por ejemplo los aceites vegetales de uso doméstico y las grasas de origen animal tienen valores en el intervalo de 180 a 200 de índice de saponificación (Przybylski *et al.*, 2005).

### **2.7.2 Índice de yodo**

El índice de yodo es una constante química para una grasa o aceite, es una característica valiosa que mide la insaturación, pero no define específicamente los ácidos grasos. Sin embargo los aceites vegetales con funcionalidad comparable, pero de diferente fuente de obtención, no tendrán índices de yodo similares. El índice de yodo es expresado en gramos de yodo absorbido por gramo de muestra ( $\text{g I}_2 \text{ 100 g}^{-1}$ ). La determinación puede ser llevada a cabo mediante el reactivo de Wijs, el cual es añadido en exceso a la muestra, permitiendo reaccionar durante 30 minutos a 25 °C, el reactivo en exceso es tratado con yoduro de potasio para convertirlo a su yodo equivalente y es titulado con tiosulfato de sodio e indicador de almidón hasta que el color azul desaparece (O'Keefe y Pike, 2010).

### **2.7.3 Composición de ácidos grasos**

El análisis de composición de ácidos grasos mediante cromatografía de gases y líquidos provee un medio rápido y preciso para determinar su distribución en productos oleosos. Esta información beneficia en todos los aspectos de desarrollo de productos, control de procesos y comercialización porque las características físicas, químicas y nutricionales de un aceite son influenciadas por los tipos y proporciones de los ácidos grasos. Los resultados del análisis proveen una cantidad de información importante en un solo análisis, como: la identificación de ácidos grasos individuales y cantidad de estos, niveles de saturación-insaturación, identificación de isómeros de ácidos grasos insaturados, así también provee datos para determinar las proporciones de fuentes de aceites y proceso de

un producto mezclado, esta información aplica por igual para aceites refinados y sin refinar (Seppänen *et al.*, 2002).

El procedimiento de cromatografía de gases envuelve el paso de los esteres metílicos o triglicéridos transesterificados a ser analizados a través de una columna calentada por medio de un gas de transporte como helio o nitrógeno. Los componentes de la mezcla son eluidos con el gas, detectados y medidos a la salida de la columna por un medio conveniente, el tiempo de retención es el tiempo requerido por un compuesto dado al pasar a través de la columna, los esteres de ácidos grasos salen en el orden de saturación. La separación de los ácidos grasos está basada en la longitud de la cadena de carbono, grado de saturación, así como la geometría y posición de los dobles enlaces (Dodds *et al.*, 2005).

#### **2.7.4 Índice de yodo calculado**

El índice de yodo puede ser calculado de un análisis de composición de ácidos grasos (Cuadro 2). El índice es determinado multiplicando el porcentaje de cada ácido graso insaturado por su constante y los resultados se suman. Sin embargo este proceso no sustituye el índice de yodo obtenido de manera regular. Este puede ser utilizado como una auditoria del valor de yodo químico y provee la capacidad de obtener dos resultados de un solo análisis (Ham *et al.*, 1998).

### **2.8 Análisis de rancidez en aceites**

#### **2.8.1 Índice de peróxidos**

La oxidación de lípidos es la causa principal de su deterioro y los hidroperóxidos formados por la reacción entre el oxígeno y los ácidos grasos insaturados (palmitoleico, oleico, linolénico) son los productos primarios de esta reacción. Los hidroperóxidos no tienen



olor ni sabor pero colapsan rápidamente para formar aldehídos, los cuales tienen olor y sabor desagradables.

Cuadro 2. Constantes para cálculo de índice de yodo de los ácidos grasos insaturados.

Ácido graso	Constante	Ácido graso	Constante
C-10:1 Decenoico	1.388	C-16:3 Hexadecatrienoico	2.895
C-12:1 Lauroleico	1.203	C-18:3 Linolénico	2.616
C-14:1 Miristoleico	1.062	C-20:3 Dihomo- $\gamma$ -linolénico	2.386
C-15:1 Pentadecanoico	1.002	C-16:4 Hexadecatetraenoico	3.888
C-16:1 Palmitoleico	0.950	C-18:4 Estearidónico	3.512
C-17:1 Margaroleico	0.903	C-20:4 Araquidónico	3.202
C-18:1 Oleico	0.860	C-22:4 Docosatetraenoico	2.943
C-20:1 Gadoleico	0.785	C-20:5 EPA	4.028
C-22:1 Erúcico	0.723	C-21:5 Henicosapentaenoico	3.855
C-24:1 Nervónico	0.669	C-22:5 Clupanodónico	3.699
C-16:2 Hexadecadienoico	1.915	C-24:5 Tetracosapentaenoico	3.419
C-18:2 Linoleico	1.732	C-22:6 DHA	4.464
C-20:2 Eicosadienoico	1.581	C-24:6 Tetracosahexaenoico	4.125
C-22:2 Docosadienoico	1.454		

(Ham *et al.*, 1998)

La concentración de peróxidos es una medida de la oxidación o rancidez en las etapas primarias. Este índice mide la concentración de sustancias, en términos de miliequivalentes de oxígeno activo por cada 1000 gramos de muestra ( $\text{meq O}_2 \text{ kg}^{-1}$ ), que oxidan el yoduro de potasio a yodo (Canapi *et al.*, 2005). El índice de peróxidos es uno de las pruebas químicas más ampliamente usadas para la determinación de la calidad de aceites o de su grado de rancidez, así también ha mostrado buena correlación con resultados organolépticos de sabor. Para aceite de soya un valor de 1 o menos indica frescura, 1 a 5 baja oxidación, 5 a 10 oxidación moderada, mayor a 10 alta oxidación, mayor a 20 sabor muy “pobre” o rancio. Estos parámetros de calidad son específicos para

aceite de soya, y valores más altos pueden ser aceptados para otros aceites (Dean *et al.*, 2011).

La determinación de peróxidos no provee una evaluación completa del sabor de los aceites debido a la naturaleza de los peróxidos y su transformación a materiales no peroxídicos. Asimismo valores altos de peróxidos usualmente significan clasificaciones de sabor pobres o rancios, pero valores bajos de peróxidos no siempre son una indicación de un buen sabor (O'Brien, 2004).

### **2.8.2 Ácidos grasos libres**

La rancidez hidrolítica ocurre como resultado de la separación de una molécula de triglicérido en el enlace éster con la formación de ácidos grasos libres (AGL), los cuales pueden contribuir olores, sabores y otras características indeseables. Los sabores resultantes del desarrollo de los AGL dependen de la composición del aceite, la liberación de ácidos grasos de cadena corta, como butírico, caproico y caprico, causan particularmente olores y sabores desagradables, mientras que los ácidos grasos de cadena larga, palmitoleico, oleico, linoleico, entre otros; producen sabores a cera o jabonosos (Canapi *et al.*, 2005). Estos parámetros son una medida del contenido de los ácidos grasos libres de un aceite, el valor ácido es la cantidad de hidróxido de potasio requerida para neutralización y los AGL utilizan hidróxido de sodio para neutralización. Los AGL pueden ser expresados en términos de valor ácido multiplicando el porcentaje de AGL por 1.99. Los AGL son calculados como ácido oleico libre con base en el porcentaje para la mayoría de las fuentes de aceite, también para aceite de coco y de grano de palma es usualmente calculado como ácido laurico y como ácido palmítico, respectivamente (Nielsen, 2010).

## 2.9 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos comprenden un grupo diverso de moléculas clasificadas como metabolitos secundarios en las plantas que tienen amplias formas y estructuras. Son considerados los grupos de compuestos más importantes en el reino vegetal. Estos compuestos poseen la capacidad de funcionar como antioxidantes, los cuales donan un electrón a un radical libre y lo convierten en una molécula inocua (Charles *et al.*, 2012). Los antioxidante presentes en las frutas como los ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas y taninos, ha sido asociados con beneficios a la salud (Fu *et al.*, 2011). En el aguacate Hass se ha identificado a las procianidinas como los polifenoles que contribuyen mayormente a la actividad antioxidante (Wang *et al.*, 2010).

Diversas metodologías se han utilizado para cuantificar los compuestos bioactivos en las frutas, uno de los principales es el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu que estima la cantidad de fenoles totales, para cuantificar flavonoides totales se utiliza el ensayo colorimétrico cloruro de aluminio y para antocianinas totales se usa el método de diferencia de pH, basado en el cambio estructural de las antocianinas entre valores de pH 1 a 4.5 (Charles *et al.*, 2011). La capacidad antioxidante es principalmente evaluada a través de pruebas químicas. Entre los principales métodos químicos se encuentran la capacidad de absorbanza de radicales oxígeno (ORAC), parámetro antioxidante de secuestro de radicales totales (TRAP) y capacidad de secuestro del radical libre DPPH (DPPH<sup>·</sup>) (Alam *et al.*, 2013).

## **2.10 Propiedades mecánicas y valor calorífico de los aceites vegetales**

### **2.10.1 Viscosidad**

Los aceites vegetales han incrementado su importancia no solo por sus propósitos nutricionales sino también como materia prima para un amplio rango de productos que incluyen combustibles, productos para el cuidado de la piel, lubricantes y pinturas, estas implicaciones requieren estudios extensivos de sus propiedades fisicoquímicas para asegurar su adecuado uso como materia prima (Eromosele y Paschal, 2003). La viscosidad de los aceites vegetales depende principalmente de la composición de sus triglicéridos, asimismo es afectada por la temperatura (Sadat y Khan, 2007), donde a mayor temperatura aplicada al aceite presentará una menor viscosidad (Fasina y Colley, 2008).

### **2.10.2 Densidad**

Los aceites vegetales esta formados principalmente por triacilgliceroles, además de una variedad de compuestos menores, las variaciones en el tipo y cantidad de estos compuestos son responsables de las diferencias en sus propiedades físicas (Ceriani *et al.*, 2008). Los aceites vegetales son de gran importancia en la industria de alimentos, jabones, cosméticos y farmacéuticos, debido a esto la estimación de la densidad es esencial para el diseño de procesos unitarios como destilación, intercambiadores de calor, tuberías entre otros (Rodenbush *et al.*, 1999). La densidad de los aceites vegetales disminuye linealmente con el incremento de la temperatura, a su vez es dependiente del peso molecular de los ácidos grasos presentes en el aceite, se ha reportado que un alto contenido de ácido oleico produce valores más altos de densidad en comparación con el ácido linoleico y linolénico (Davis *et al.*, 2008).

### **2.10.3 Calor de combustión**

Los aceites vegetales y los esteres metílicos han sido considerados como combustibles alternativos para motores a diésel (Sadrameli *et al.*, 2008). El calor de combustión o valor calorífico es la cantidad de calor producido por la combustión de un kilogramo de aceite. Es la energía liberada cuando los componentes presentes como moléculas de hidrógeno, carbono y oxígeno son completamente convertidos en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O) , este valor aumenta con la longitud de los ácidos grasos presentes en las moléculas de triglicéridos (Levine *et al.*, 2014). La presencia de porcentajes altos de ácidos grasos insaturados como oleico, linoleico y linolénico en los aceites producirán valores de calor de combustión más elevados en comparación con los ácidos grasos saturados (Gerhard y Robert, 2005).

### III. CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE FRUTOS DE *Persea schiedeana* Nees Y EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA PULPA MEDIANTE CENTRIFUGADO

Jácome-Rincón, J., J. G. Cruz-Castillo., D. Guerra-Ramírez., T. Espinosa-Solares

#### RESUMEN

*Persea schiedeana* Nees es un árbol silvestre, su fruto es conocido como chinene el cual es perecedero y de corta vida postcosecha. El fruto presenta diversidad morfológica y la pulpa es fibrosa y de textura similar al aguacate. En el presente estudio se colectaron frutos de seis árboles de la región de Huatusco, Veracruz con el objetivo de caracterizar fisicoquímicamente los frutos y evaluar un método de extracción de aceite sin la utilización de disolventes. Los frutos presentaron valores de 67.5 a 113 g de pulpa, con un contenido de aceite total y de peso seco de 16.56 a 31.74 y 27.99 a 55.13 %, respectivamente. La actividad antioxidante de la pulpa y contenido de fenoles totales fue de 7.8  $\mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox con base en el peso seco (ET  $\text{g}^{-1}$  bs) y 2.99 mg equivalentes de ácido gálico (EAG  $\text{g}^{-1}$  bs), respectivamente. La concentración inhibitoria ( $\text{CI}_{50}$ ) del aceite osciló de 41.7 a 118.9  $\text{mg mL}^{-1}$ . El mayor porcentaje de extracción de aceite fue obtenido con los tratamientos T 7 y T 8 con pretratamiento de la pulpa durante dos minutos en microondas centrifugado a 3169 y 4734 g. Diferencias significativas fueron encontradas en los índices químicos del aceite ( $p \leq 0.05$ ). El índice de acidez fue mayor en los tratamientos T 7, T 8 y T 9 donde se utilizó microondas (3.94 a 11.6 % de ácido oleico).

**Palabras clave:** *Persea schiedeana* Nees, chinene, extracción de aceite, antioxidantes, microondas.

#### ABSTRACT

*Persea schiedeana* Nees is a wild tree, its fruit is known as chinene which is perishable and short in postharvest life. The fruit presents morphologic diversity, the pulp is fibrous and similar in texture than avocado. In the present study fruits were collected from six wild trees from the Huatusco, Veracruz región with the objective to characterize physicochemically the fruits of *Persea schiedeana* Nees and to evaluate an oil extraction method from the fruit pulp without using solvents. The fruit presented values from 67.5 to 113 g of pulp, with a total oil content and dry weight of 16.56 to 31.74 and 27.99 to 55.13 %, respectively. The antioxidant activity of the pulp and total phenol content was from 7.8  $\mu\text{mol}$  Trolox equivalents dry basis (TE  $\text{g}^{-1}$  DW) and 2.99 mg acid gallic equivalents (GAE  $\text{g}^{-1}$  DW), respectively. The oil inhibitory concentration ( $\text{IC}_{50}$ ) ranged from 41.7 a 118.9  $\text{mg mL}^{-1}$ . The highest percentage of oil extraction was obtained from the treatments T 7 and T8 with pretreated pulp in microwave for two minutes and centrifugation at 3169 and 4734 g. Significant differences were found on the oil chemical index ( $p \leq 0.05$ ). Acidity index was higher in the treatments T 7, T 8 and T9 where microwaves were used (3.94 to 11.6 % oleic acid).

**Keywords:** *Persea schiedeana* Nees, chinene, oil extraction, antioxidants, microwave.

### 3.1 Introducción

Chinene es el nombre con el que se le conoce al fruto del árbol *Persea schiedeana* Nees (Cruz-Castillo *et al.*, 2007). Este árbol se encuentra en los patios de muchos habitantes de México sin embargo no ha sido cultivado a gran escala en huertos, a su vez tampoco han sido seleccionados cultivares para la producción de frutos para consumo humano (Gómez-López *et al.*, 2002). Un factor que ha limitado su desarrollo comercial ha sido su corta vida en postcosecha (8 días) siendo un fruto muy perecedero con una muy alta tasa de respiración (Del Ángel-Coronel *et al.*, 2010).

Los frutos de chinene de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, presentan diversidad morfológica y variación en cuanto a contenido de aceite en la pulpa (24.7 a 36 %) (Joaquín-Martínez *et al.*, 2007), asimismo en la región central del estado de Veracruz (Del Ángel-Coronel *et al.*, 2010), presentando en su composición química principalmente al ácido oleico (39 a 41.7 %). Campos-Hernández *et al.* (2011) identificaron la presencia de  $\gamma$  y  $\delta$  tocoferol en el aceite de chinene similar al del aceite de oliva y de aguacate, los cuales son antioxidantes que juegan un papel importante en los aceites vegetales (Rossi *et al.*, 2007).

La pulpa del fruto de chinene se reconoce en la región central de Veracruz como un alimento que ayuda a mejorar la digestión (Campos-Hernández *et al.*, 2011), la pulpa es fibrosa o de textura similar a la del aguacate (*Persea americana* Mill) (Rendón-Cantillano, 2003). El contenido de aceite de la pulpa oscila de 24.7 a 36 % por lo que se le considera un producto con potencial de agroindustrialización. La forma de extracción de aceites vegetales con mayor eficiencia en cuanto a rendimiento es utilizando disolventes (Landucci *et al.*, 2013) sin embargo esto implica riesgos al medio ambiente y a la salud

del consumidor (Luque de Castro *et al.*, 2013). La utilización de centrifugado es una alternativa de separación de partículas de líquidos la cual es utilizada en diferentes tipos de industria (Anlauf, 2007). La extracción de aceite de la pulpa de aguacate utilizando centrifugado ha sido utilizada previamente (Buenrostro y López-Munguía, 1986; Werman y Neeman, 1987; Bizimana *et al.*, 1993) con rendimientos de extracción del 60 al 70 %, asimismo se ha estudiado la extracción asistida con microondas debido a que la radiación provoca el rompimiento de las células permitiendo la liberación del aceite y con esto una mayor eficiencia de recuperación (Moreno *et al.*, 2003). El objetivo de este estudio fue caracterizar fisicoquímicamente frutos de *Persea schiedeana* Nees de la región de Huatusco, Veracruz y evaluar un método de extracción de aceite mediante centrifugado.

### **3.2 Materiales y métodos**

#### **3.2.1 Material vegetal**

Los frutos de *Persea schiedeana* Nees (12 a 50 frutos) (Cuadro 3) fueron colectados al azar de seis árboles de la región de Huatusco, Veracruz, en estado de madurez fisiológica. Los árboles se encontraban sin ningún manejo agronómico, tenían una altura de 10 a 25 metros y una edad aproximada de 15 a 30 años.

#### **3.2.2 Acondicionamiento y caracterización física de los frutos**

Los frutos fueron lavados con agua potable, la cáscara fue retirada; la pulpa extraída y mezclada para obtener una pasta homogénea, el pH de la pasta fue aproximadamente 6.7.



Cuadro 3. Colecta de frutos de *Persea schiedeana* Nees de la región de Huatusco Veracruz.

Árboles	Número de frutos
Poxtla	50
Tlapala	12
Durazno 1	12
Durazno 2	21
Huatusco 1	19
Huatusco 2	24

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.3 Características físicas

La evaluación física de los frutos colectados fue realizada en características como pesos frescos del fruto (g), pulpa (g), cáscara (g) y semilla (g) con una balanza digital OHAUS CS2000. También fue determinada la longitud y el diámetro (cm) del fruto y de la semilla con un vernier digital (IPGRI, 1995).

### 3.2.4 Porcentaje de humedad

Para la determinación de humedad se utilizaron 150 gramos de pulpa de chinene, en estado de madurez fisiológica, obtenida de diez frutos por cada colecta. La pulpa fue congelada con nitrógeno líquido, posteriormente fueron colocados en la cámara de secado de un liofilizador Labconco 77510 00, a una temperatura de -44 °C y a presión de  $17 \times 10^{-3}$  mBar durante cuatro días hasta que quedaron completamente secos (Shofian *et al.*, 2011). El contenido de humedad fue calculado de acuerdo a la siguiente ecuación, donde  $M_0$  es el peso inicial de la muestra fresca y  $M$  es el peso final de la muestra seca.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = 100 * \frac{(M_0 - M)}{M_0}$$

### 3.2.5 Determinación de aceites totales

Fueron utilizados 21 gramos de pulpa liofilizada de cada colecta de chinene a los que se les realizó la extracción del aceite mediante la metodología propuesta por Marjolaine *et al.* (2008) con modificaciones, siete gramos de pulpa previamente molida fueron colocados en un cartucho de papel filtro en un aparato de destilación Soxhlet, 150 mL de hexano fueron añadidos en un matraz bola, la muestra fue colocada a reflujo durante 18 horas ajustándose el calentamiento de forma que el extractor mantuviera un reflujo constante, al finalizar el disolvente fue removido en un rotavapor (Büchi Rotovapor, Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland) aplicando vacío y en baño de vapor a 40 °C. El aceite fue pesado y colocado en frascos ámbar y almacenado en refrigeración hasta su análisis. La extracción fue llevada a cabo por triplicado para cada una de las muestras. El porcentaje de recuperación fue calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de aceite (\%)} = \frac{(100 - W) * Z}{Y}$$

De la cual W es el contenido de humedad (%), Z es el peso del aceite extraído (g), Y es el peso de la muestra de pulpa (g).

### 3.2.6 Extracción de aceite

**3.2.6.2 Extracción de aceite mediante centrifugado.** Para la evaluación de la extracción de aceite mediante centrifugado fueron utilizados 1000 g aproximadamente de pulpa de la muestra Poxtla, el proceso de extracción fue llevado a cabo de acuerdo con varios autores realizando modificaciones. Para cada tratamiento 30 g de pulpa fueron diluidas en una proporción 3:1 peso/peso (p/p) con agua destilada (Werman y Neeman, 1987), el agua fue previamente colocada a ebullición en una parrilla, la pulpa fue añadida y agitada

constantemente durante cinco minutos (Bizimana *et al.*, 1993), esta operación fue realizada por triplicado. En los tratamientos indicados (Cuadro 4) el pH de la pulpa fue ajustado con ácido clorhídrico (HCL) 0.1 N. Posteriormente se condujo la extracción del aceite con una centrífuga de laboratorio (SOLBAT J-600, México) de acuerdo con la metodología de Bizimana *et al.* (1993) y Moreno *et al.* (2003) (Cuadro 4) con modificaciones, pH de la pasta (5.5, 6.7), velocidad de centrifugado (4000, 4500, 5000, 5500 rpm), adición de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>, 0, 5 % p/p, sal/pulpa), pretratamiento de la pulpa en microondas convencional seleccionando la potencia máxima (10) (Acros®, modelo AM1007Q, México). La velocidad de centrifugado fue transformada a su equivalente en unidades de fuerza centrífuga relativa g (Cuadro 4). Para la extracción de aceite la unidad experimental consistió en 1000 g de pulpa de chinene y cada uno de los tratamientos fue llevado a cabo por triplicado.

Cuadro 4. Descripción de tratamientos para la extracción de aceite de la pulpa de *Persea schiedeana* Nees.

Tratamientos	pH	Sal (5 %)	Microondas	Centrifugado (t)	rpm	g
T 1	6.7	-	-	30 minutos	4000	2504
T 2	6.7	-	-	30 minutos	5000	3913
T 3	5.5	-	-	30 minutos	4000	2504
T 4	5.5	-	-	30 minutos	5000	3913
T 5	5.5	CaCO <sub>3</sub>	-	30 minutos	4000	2504
T 6	5.5	CaCO <sub>3</sub>	-	30 minutos	5000	3913
T 7	6.7	-	2 minutos	30 minutos	4500	3169
T 8	6.7	-	2 minutos	30 minutos	5500	4734
T 9	6.7	-	2 minutos	5 minutos	4500	3169

El pH de la pulpa no fue modificado en los tratamientos 1, 2, 7, 8 y 9, t: tiempo, rpm:

revoluciones por minuto, g: gravedad, unidad de fuerza centrífuga relativa.

### **3.2.7 Fenoles totales y actividad antioxidante de la pulpa**

Para la cuantificación de fenoles totales y actividad antioxidante fue utilizada la pulpa de la muestra Poxtla. Cada uno de los ensayos fue conducido por triplicado.

**3.2.7.1 Extracción de polifenoles.** La extracción de compuestos fenólicos fue llevada a cabo de acuerdo a la metodología de Wang *et al.* (2010) con modificaciones, un gramo de pulpa liofilizada y sin grasa fue extraída con una mezcla de 10 mL de acetona/agua/ácido acético (70:29.7:0.3 v/v/v), los tubos de extracción fueron colocados en un vortex durante un minuto y sometidos a sonicación durante 15 minutos, manteniéndose a temperatura ambiente durante 20 minutos y repitiendo el proceso una vez más. Los tubos fueron centrifugados a 1277 g durante diez minutos, los sobrenadantes de tres extracciones fueron recuperados y mezclados aforándose a 25 mL con el disolvente empleado para la extracción, refrigerándose para análisis posteriores de compuestos fenólicos y actividad antioxidante.

**3.2.7.2 Ensayo de cuantificación de fenoles totales mediante el reactivo Folin-Ciocalteu.** El contenido de fenoles totales fue determinado en microplacas mediante el ensayo de Folin-Ciocalteu de acuerdo con la metodología de Herald *et al.* (2012) con modificaciones. Se utilizaron diluciones de ácido gálico ( $0.454 \text{ mg mL}^{-1}$ ) para generar una curva estándar, tanto el ácido gálico en diferentes concentraciones como los extractos de chinene (25  $\mu\text{L}$ ) fueron mezclados con carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al 20 % (30  $\mu\text{L}$ ), agua destilada (125  $\mu\text{L}$ ) y reactivo de Folin-Ciocalteu (20  $\mu\text{L}$ , diluido 1:10 con agua destilada). Después de 30 minutos de reacción la absorbancia a 765 nm fue medida en un lector de microplacas multidetector con inyectores Synergy® HT equipado con el software Gen5 de análisis de datos (Biotek Instruments Inc., Winoosky, VT, USA). Los

resultados de fenoles totales fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra con base en el peso seco (mg EAG g<sup>-1</sup> bs).

**3.2.7.3 Ensayo DPPH en la pulpa del fruto.** Se realizó mediante el ensayo de alto rendimiento utilizando el radical libre 2,2-difenil-1-picril-hidrazilo (DPPH<sup>·</sup>) de acuerdo a la metodología de Cheng *et al.* (2006) con modificaciones, una serie de diluciones de extracto de pulpa de chinene fueron colocadas en una microplaca (100 µL) en un intervalo de concentraciones de 1.2 a 5.4 mg mL<sup>-1</sup> posteriormente 100 µL de disolución de DPPH<sup>·</sup> 0.202 mM fueron agregadas a cada pozo para un volumen total de 200 µL. De igual forma 200 µL de blanco de reactivos acetona/agua (1:1) fueron colocados y un control con una mezcla de 100 µL acetona/agua (1:1) y 100 µL de DPPH<sup>·</sup> 0.202 mM, también se realizó una curva estándar de ácido (±)-6-hidroxi-2, 5, 7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico (Trolox) en concentraciones de 2.39 a 47.94 µM. La absorbancia (A) de la microplaca fue determinada a 515 nm inmediatamente después de agitación y cada pozo fue leído desde el minuto 1 hasta el minuto 30 mediante el lector de microplacas multidetector con inyectores Synergy® HT equipado con el software Gen5 de análisis de datos (Biotek Instruments Inc., Winoosky, VT, USA). Para estimar la capacidad total de secuestro de DPPH<sup>·</sup>, el porcentaje de DPPH<sup>·</sup> degradado fue determinado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ DPPH}^{\cdot} \text{ degradado} = \left( 1 - \frac{A_{\text{muestra}} - A_{\text{blanco}}}{A_{\text{control}} - A_{\text{blanco}}} \right) \times 100$$

Donde  $A_{\text{muestra}}$ ,  $A_{\text{blanco}}$ ,  $A_{\text{control}}$  representa la absorbancia del antioxidante de referencia o de la muestra, blanco y el control a 515 nm al tiempo de reacción  $t$  (minutos), respectivamente.

Los valores de % DPPH<sup>·</sup> degradado a diferentes tiempos de reacción obtenidos de la ecuación fueron graficados contra el tiempo de reacción y el valor del área bajo la curva (ABC) calculado de la gráfica para cada concentración de muestra y Trolox. Para el cálculo de ABC la siguiente ecuación fue utilizada:

$$ABC = 0.5 f_0 + (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_{i-1}) + 0.5 f_i$$

Donde  $f_0$  es la lectura inicial al minuto cero del DPPH<sup>·</sup> degradado y  $f_i$  es la lectura al tiempo de reacción  $i$  donde la degradación del radical permanece constante.

La capacidad relativa de secuestro de DPPH<sup>·</sup> (CRSD) fue expresada como micromoles equivalentes de Trolox por cada gramo de muestra ( $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ ) calculada mediante la ecuación:

$$CRSD = \frac{ABC_{\text{muestra}}}{ABC_{\text{trolox}}} \times \frac{\text{molaridad}_{\text{trolox}}}{\text{masa}_{\text{muestra}}}$$

Los valores de ABC de siete concentraciones de Trolox en el intervalo de 2.39 a 47.94  $\mu\text{M}$  fueron determinados. Los valores de ABC (y) fueron graficados contra las concentraciones de Trolox (x), de donde la ecuación de regresión ( $y = ax + b$ ) fue obtenida de la gráfica y utilizada para el cálculo de CRSD. La concentración inhibitoria  $CI_{50}$  fue calculada graficando el porcentaje de DPPH<sup>·</sup> degradado contra las concentraciones de la muestra. El valor  $CI_{50}$  fue la concentración del antioxidante para degradar el 50 % de radicales en la mezcla de reacción bajo las condiciones del ensayo. Las determinaciones fueron llevadas a cabo por triplicado y los datos fueron procesados con el programa Microsoft Excel 2013.

### 3.2.8 Actividad antioxidante, ensayo DPPH' en aceite de chinene

La actividad antioxidante en el aceite de pulpa de frutos de *P. schiedeana* fue evaluada utilizando el radical libre 2,2-difenil-1-picril-hidrazilo (DPPH') de acuerdo con la metodología de Rossi *et al.* (2007) con modificaciones. Se utilizó una disolución de DPPH' en acetato de etilo ( $6.1 \times 10^{-5}$  M) (Espín *et al.*, 2000). Concentraciones de 50 a 900 mg mL<sup>-1</sup> de aceite fueron preparadas en acetato de etilo, 100 µl de aceite se mezclaron con 1900 µl de DPPH', la absorbancia a 515 nm fue medida después de dejar reposar la mezcla durante 30 minutos en un espectrofotómetro de UV-visible Coleman Junior II 6/20. El porcentaje de reducción del DPPH' inhibido fue calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{DPPH}'_{\text{inhibido}} = \left( \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{muestra}}}{A_{\text{control}}} \right) \times 100$$

Donde  $A_{\text{control}}$  es la absorbancia del control,  $A_{\text{muestra}}$  es la absorbancia de la muestra.

El porcentaje de reducción del DPPH' fue graficado contra las concentraciones de aceite y la concentración inhibitoria 50 (CI<sub>50</sub>) fue calculada de la ecuación de regresión. Este procedimiento fue llevado a cabo por duplicado para cada una de los aceites obtenido por cada tratamiento. Asimismo la capacidad antioxidante fue expresada mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{CI_{50}} \times 100$$

### **3.2.9 Propiedades fisicoquímicas del aceite de chinene obtenido mediante centrifugado**

**3.2.9.1 Perfil de ácidos grasos del aceite de chinene.** El aceite obtenido de la pulpa de *Persea schiedeana* Nees fue sometido a una reacción de esterificación ácida con metanol utilizando la metodología de Zhang y Jiang (2008) con modificaciones, debido a que el índice de acidez del aceite de chinene fue superior al 2 %, utilizando como catalizador ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Cinco gramos de aceite de chinene fueron colocados en un matraz de bola, por separado fue preparada una mezcla de metanol:  $H_2SO_4$ ; a 37.5 mL de metanol fueron agregados 2.5 mL de  $H_2SO_4$  y esta fue añadida al aceite, el matraz fue colocado sobre un baño de agua, junto con un condensador de reflujo sobre una parrilla ajustándose la temperatura de reacción y la mezcla fue agitada a 800 rpm. El tiempo de reacción fue de dos horas a una temperatura de 60 ° C. Después de llevada cabo la reacción la mezcla fue colocada en un embudo de separación y la parte superior de metanol-agua fue removida. Se efectuaron lavados con 20 mL de agua destilada tres veces midiendo el pH de la mezcla asegurando que el  $H_2SO_4$  haya sido eliminado completamente. Posteriormente fue transferido a un matraz y evaporado en un rotavapor (Büchi Rotovapor, Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland).

El aceite pretratado fue sometido a una reacción de transesterificación alcalina, colocándolo nuevamente en un matraz de bola, sobre un baño de agua, acoplado al condensador de reflujo y calentado a 60 °C. Una mezcla de metanol (1 mL) e hidróxido de potasio (0.035 g) fue añadida al matraz de reacción. La mezcla reaccionó durante una hora con agitación constante a 800 rpm. Después de completada la reacción, el producto fue colocado en un embudo para la separación de los esteres metílicos (biodiesel) y fue



dejada reposar durante un día. Posteriormente la capa inferior de glicerina fue descartada, para evitar la emulsificación después de la reacción 0.1% de ácido cítrico y agua caliente fueron usados para remover el catalizador. Finalmente los ésteres metílicos de ácidos grasos fueron secados con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua (Marroquín-Andrade *et al.*, 2011).

Los ésteres metílicos de los ácidos grasos se analizaron por cromatografía de gases en un equipo marca Agilent 6890 con un detector de ionización de flama (FID), utilizando una columna ATSilar (30 m  $\times$  0.25 mm d.i.  $\times$  0.25  $\mu$ m de espesor de película). La temperatura inicial del horno fue de 170 °C y se establecieron rampas de 10 °C por minuto hasta alcanzar una temperatura final de 240 °C. Tanto en el inyector como detector, la temperatura fue 260°C. Se utilizó hidrógeno como gas acarreador, a una velocidad de flujo de 1.8 mL min<sup>-1</sup>. Como estándar se utilizaron ésteres metílicos de ácidos grasos, cuyos tiempos de retención fueron utilizados para cuantificar los ésteres metílicos de ácidos grasos en la muestra.

### **3.2.10 Índice de acidez, peróxidos, yodo y saponificación**

Fueron realizados de acuerdo a los métodos de análisis de la Organización Internacional de Normalización (ISO), cada uno de los índices fueron evaluados utilizando el aceite obtenido por cada tratamiento y las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

**3.2.10.1 Porcentaje de ácidos grasos libres.** De acuerdo a la norma ISO 660:2009, 0.5 gramos de aceite fueron pesados en un matraz, posteriormente 5 mL de etanol y 0.5 mL de fenolftaleína fueron agregados. El matraz fue colocado en una parrilla de calentamiento con agitación constante. La emulsión fue titulada con hidróxido de potasio (KOH) 0.1 N

hasta vire de color rosa permanente durante un tiempo de al menos un minuto. Los ácidos grasos libres fueron expresados en porcentaje por masa de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ácidos grasos libres} = \frac{V * N * M}{m} * 100$$

Donde V es el volumen en mililitros de hidróxido de potasio usados en la titulación, N es la normalidad exacta del hidróxido de potasio, M es la masa molar en gramos por mol del ácido oleico, m es la masa en gramos de la muestra. Los resultados fueron expresados en porcentaje de ácido oleico por masa de muestra.

**3.2.10.2 Índice de peróxidos.** De acuerdo a la norma ISO 3960:2007, un gramo de aceite de chinene fue pesado en un matraz, se adicionaron seis mililitros de una mezcla de ácido acético glacial-cloroformo, relación 3:2 (v/v); la mezcla fue agitada hasta disolución, después 0.1 mL de disolución saturada de yoduro de potasio fue agregada. La mezcla fue tapada y se dejó reposar durante un minuto, después se adicionaron seis mililitros de agua, y la mezcla se tituló con solución valorada de tiosulfato de sodio 0.01 N, durante la titulación la mezcla fue agitada vigorosamente y antes de la desaparición del color amarillo de la misma se adicionó 0.1 mL de solución indicadora de almidón, se continuó con la titulación hasta la desaparición del color azul en la mezcla. Un blanco de reactivos fue titulado de la misma forma que la muestra. La lectura fue tomada de acuerdo a los mililitros gastados en la titulación y el índice de peróxidos fue obtenido de la ecuación siguiente:

$$IP = \frac{(A - A_1) \times N \times 1000}{g}$$

Donde A son los mililitros de disolución de tiosulfato de sodio gastados en la titulación de la muestra, A<sub>1</sub> son los mililitros de disolución de tiosulfato de sodio gastados en la titulación del blanco de reactivos, N es la normalidad de la disolución de tiosulfato de sodio, g es la masa de la muestra en gramos. Los resultados fueron expresados como miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de aceite (meq O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>).

**3.2.10.3 Índice de yodo.** De acuerdo a la norma ISO 3961:2013, 0.2 gramos de aceite de chinene fueron pesados en un matraz, se adicionaron 10 mL de cloruro de metileno y 10 mL de reactivo de Wijs agitándose constantemente. La mezcla se colocó en la oscuridad durante 30 minutos. Transcurrido el tiempo 10 mL de disolución de yoduro de potasio al 10 % fueron agregados y se procedió a titular con solución valorada de tiosulfato de sodio 0.1 N, durante la titulación la mezcla fue agitada constantemente. Se tituló hasta vire color amarillo paja y después 1 mL de solución indicadora de almidón fue agregada, titulando hasta el vire de coloración azul a blanco. A la par un blanco de reactivos fue titulado de la misma forma que la muestra. La lectura fue tomada de acuerdo a los mililitros gastados en la titulación y el índice de yodo fue obtenido de la ecuación siguiente:

$$IY = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 12.69}{g}$$

Donde V<sub>1</sub> son los mililitros gastados en la titulación del blanco, V<sub>2</sub> son los mililitros gastados en la titulación de la muestra, N es la normalidad de la disolución de tiosulfato de sodio, g es la masa de la muestra en gramos. Los resultados fueron expresados como gramos de yodo absorbido por cada 100 gramos de muestra (g I<sub>2</sub> 100 g<sup>-1</sup>).

**3.2.10.4 Índice de saponificación.** El índice de saponificación se determinó de acuerdo a la norma ISO 3657:2013, 5 gramos de aceite de chinene fueron pesados en un matraz con tapón esmerilado de 250 mL, se adicionaron 50 mL de hidróxido de potasio (KOH) 0.5 N con una pipeta volumétrica en un tiempo definido. Se adaptó un sistema refrigerante de reflujo y el matraz fue colocado en baño de vapor durante 30 minutos, con agitación constante. Posteriormente fue enfriado y se agregó un mililitro de fenolftaleína, el exceso de KOH fue valorado con ácido clorhídrico 0.5 N. Se llevó a cabo un blanco de reactivos con las mismas cantidades empleadas que en la muestra. La lectura fue tomada de acuerdo a los mililitros gastados en la titulación y el índice de saponificación fue obtenido de la siguiente ecuación:

$$IS = \frac{(B - V) \times N \times 56.1}{m}$$

Donde V son los mililitros de HCl gastados en la valoración de la muestra, B son los mililitros de HCl gastados en la valoración del blanco, N es la normalidad del HCl, m es la masa de la muestra en gramos. Los resultados fueron expresados como miligramos de hidróxido de potasio requeridos para saponificar un gramo de muestra.

### **3.2.11 Propiedades mecánicas y valor calorífico del aceite de *Persea schiedeana* Nees**

**3.2.11.1 Viscosidad y densidad.** La viscosidad dinámica y cinemática fueron determinadas en un viscosímetro Anton Paar modelo SVM 3000, tipo Stabinger, viscosímetro dual y medidor de densidad de acuerdo a la norma ASTM D7042. Tres mililitros de aceite de chinene fueron colocados en una jeringa desechable de plástico, posteriormente 2 mL fueron introducidos a la celda del viscosímetro y la temperatura seleccionada para efectuar la medición. Una vez obtenido el resultado fue programada la

siguiente medición. Las lecturas fueron tomadas en el intervalo de temperaturas de 10 a 90 °C en incrementos de 10 °C, el control de temperatura fue interno en el instrumento. La viscosidad cinemática fue calculada automáticamente, dividiendo la viscosidad dinámica entre la densidad; la densidad es medida simultáneamente por el viscosímetro. Las unidades fueron expresadas en mPa•s, mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, g cm<sup>-3</sup>, para la viscosidad dinámica, viscosidad cinemática y densidad, respectivamente. Se utilizó el aceite obtenido por cada tratamiento y cada determinación se llevó a cabo por triplicado.

**3.2.11.2 Calor de combustión.** El calor de combustión del aceite de chinene se determinó de acuerdo con el método ASTM D240. Las muestras de aceite fueron colocadas directamente en la capsula de acero inoxidable. Los valores de calor de combustión fueron expresados en MJ·Kg<sup>-1</sup>. Se utilizó el aceite obtenido por cada tratamiento y cada determinación se llevó a cabo por triplicado.

### **3.2.12 Análisis de resultados**

Los experimentos se condujeron de acuerdo a un diseño completamente al azar con los tratamientos y repeticiones descritas previamente. Aplicándose análisis de varianza y comparación de medias de tratamientos (Tukey, 0.05) mediante el paquete estadístico SAS (versión 9.0).

## **3.3 Resultados y discusión**

### **3.3.1 Características físicas**

En el Cuadro 5 se muestran los promedios de los pesos encontrados en frutos de seis arboles de la región de Huatusco, Veracruz; México. El peso total del fruto varió desde 164 a 264 gramos, la pulpa de 67 a 109 gramos y la semilla tuvo un peso desde los 56 hasta 132 gramos. Valores similares fueron encontrados por Cruz-Castillo *et al.* (2007),

(160 a 254 g, 56 a 106 g) en cuanto a peso del fruto y pulpa respectivamente en frutos de chinene de ocho municipios de la región central de estado de Veracruz, México. Los frutos de menor peso total se encontraron en la muestra Poxtla distinguiéndose por ser de morfología piriforme, las muestras con mayor contenido de pulpa fueron Durazno 1 y 2 ( $p \leq 0.05$ ).

Cuadro 5. Pesos frescos de frutos de *Persea schiedeana* Nees de la región de Huatusco, Veracruz.

Árboles	Número de frutos	Peso (g)							
		Fruto	C.V.	Pulpa	C.V.	Semilla	C.V.	Cáscara	C.V.
Poxtla	12	164.20 c	22.34	67.5 b	30.94	56.7 c	19.46	40.0 b	19.69
Tlapala	12	183.0 bc	15.89	68.0 b	27.56	75.0 bc	23.73	40.0 b	16.67
Durazno 1	12	242.0 ab	20.22	113.0 a	23.25	83.0 bc	21.29	46.0 b	21.00
Durazno 2	12	264.67 a	16.81	109.55 a	22.28	97.36 ab	18.28	57.76 a	11.61
Huatusco 1	12	237.91 ab	28.95	67.09 b	29.73	124.06 a	34.46	46.76 ab	17.84
Huatusco 2	12	261.76 a	28.44	88.02 ab	27.06	132.08 a	31.88	41.66 b	26.08

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). C. V.: coeficiente de variación (%)

Los frutos de mayor longitud fueron los de Durazno 1 caracterizándose por ser de forma claviforme de cuello largo, mayor al reportado por Joaquín-Martínez *et al.* (2007) en frutos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz y en frutos de la región central del estado de Veracruz (Cruz-Castillo *et al.*, 2007). El mayor rendimiento de pulpa se encontró en las muestras Durazno 1 y 2 y las de menor fueron Huatusco 1 y 2 ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 7).

Cuadro 6. Características morfológicas de frutos de *Persea schiedeana* Nees de la región de Huatusco, Veracruz.

Muestra	Longitud (cm)				Diámetro (cm)			
	Fruto	CV	Semilla	CV	Fruto	CV	Semilla	CV
Poxtla	12.61 c	9.65	7.93 bc	9.25	5.11 d	6.55	3.55 b	8.10
Tlapala	11.78 c	5.68	7.13 c	8.57	5.50 dc	8.13	4.09 b	10.27
Durazno 1	19.62 a	12.51	8.44 ab	9.20	5.39 dc	9.19	4.10 b	10.97
Durazno 2	15.41 b	12.71	9.57 a	8.57	6.06 bc	5.52	4.83 a	5.39
Huatusco 1	13.07 c	10.90	8.53 ab	11.35	6.24 ab	12.18	4.07 b	15.87
Huatusco 2	12.94 c	12.69	9.19 a	15.64	6.87 a	9.59	4.85 a	9.38

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). C. V.: coeficiente de variación (%)

Cuadro 7. Proporción de peso, pulpa, semilla y cáscara de frutos de *Persea schiedeana* Nees de la región de Huatusco, Veracruz.

Muestra	Proporción con respecto al fruto		
	(%) Pulpa	(%) Semilla	(%) Cáscara
Poxtla	40.53 b	34.84 c	24.62 a
Tlapala	37.19 bc	40.83 b	21.97 ab
Durazno 1	46.69 a	34.27 c	19.11 bc
Durazno 2	41.39 ab	36.76 bc	21.05 ab
Huatusco 1	28.20 d	51.31 a	20.52 b
Huatusco 2	33.63 dc	50.09 a	16.04 c

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 3.3.2 Aceites totales y humedad

El contenido de aceite totales en la pulpa osciló desde 16.56 a 31.74 % ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ bh}$ ) encontrándose diferencias significativas en las muestras de *P. schiedeana* ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 8), siendo superior al contenido encontrado en variedades Antillanas de *Persea americana* Mill (3 a 7 %), entre ellas Simmonds, Pollock, Choquette, Linda, Booth 8;

cosechadas en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Maracay, Venezuela (Gómez López, 1998), a variedades de aguacate Fuerte (15.39 %) (Bora *et al.*, 2001) Lula y Ettinger ( 11.49 y 14.72 %) (Gómez-López, 2002); asimismo a lo reportado en aguacate Hass (15.8 %) (Ortiz *et al.*, 2004). Las muestras Poxtla y Tlapala tuvieron la mayor cantidad de aceite, 29.63 y 31.74 % respectivamente, similar a la reportada por Joaquín-Martínez *et al.* (2007) en frutos de tres localidades de la región de Los Tuxtlas, Veracruz (28.3 a 31.8 %). Las muestras Durazno 1 y 2 presentaron porcentajes superiores a los encontrados por Ozdemir y Topuz, (2004) en frutos de aguacate variedad Fuerte y Hass, 20.21 y 19.57 %, respectivamente; y Villa-Rodríguez *et al.* (2011) en frutos de *Persea americana* variedad Hass cosechados en Uruapan, Michoacán, México. El contenido de aceite en la muestras Huatusco 2, Poxtla y Tlapala fueron mayores a los valores de frutos de aguacate Hass cosechados en el estado de California, Estados Unidos de América (10 a 25 %) (Lu *et al.*, 2009).

En porcentaje de peso seco y humedad hubo diferencias significativas en las muestras analizadas ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 8), el peso seco fluctuó de 27.99 a 47.91 % y la humedad de 52 a 72 %. Poxtla y Durazno 2 fueron las de mayor porcentaje de peso seco, a excepción de la muestra Durazno 1 las muestras de chinene tuvieron valores más altos a los encontrados por Ozdemir y Topuz, (2004) en aguacate variedad Fuerte (29.55 %) y Hass (31.09 %); y Obenland *et al.* (2012) en frutos de aguacate Hass (18.88 a 30.26 %).

El peso seco varía dependiendo del cultivar y la época de cosecha (Özdemir *et al.*, 2009) y es un indicador del contenido de aceite en aguacate cuando se llevan a cabo pruebas fisiológicas (Mizrach, 2000) o como una medida estándar de la madurez del fruto en gran parte del mundo (Obenland *et al.*, 2012).



Cuadro 8. Contenido de aceite total (g 100 g<sup>-1</sup>), peso seco (%) y humedad (%) de frutos de *Persea schiedeana* Nees de la región de Huatusco, Veracruz.

Muestra	Aceite total (g 100 g <sup>-1</sup> )	Peso seco (%)	Humedad (%)
Poxtla	29.63 a	47.91 b	52.09 d
Tlapala	31.74 a	43.57 c	56.43 c
Durazno 1	22.51 b	27.99 e	72.01 a
Durazno 2	20.55 c	55.13 a	44.87 e
Huatusco 1	16.56 d	30.86 d	69.13 b
Huatusco 2	23.66 b	42.20 c	57.80 c
C.V.	3.86	1.83	1.29

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). C. V.: coeficiente de variación (%)

La extracción exhaustiva por Soxhlet empleando hexano como disolvente permitió determinar la cantidad de aceite contenida en la pulpa chinene. La muestra Poxtla tuvo un total de  $29.63 \pm 0.46$  g (con base en el peso húmedo, bh), por lo que dicha muestra fue seleccionada para extraer el aceite por la técnica de centrifugado. En frutos de chinene Rendón-Cantillano, (2003) obtuvo un rendimiento de  $10.6 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  de pulpa bh, utilizando la extracción Soxhlet con éter de petróleo como disolvente y Campos-Hernández *et al.* (2011) reportaron un rendimiento de 12.12 % de aceite obtenido mediante macerado con isopropanol y hexano.

### 3.3.3 Extracción de aceite mediante centrifugado

Diferencias significativas fueron observados en los tratamientos de extracción mediante centrifugado ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 9), el porcentaje de recuperación osciló de 38.25 a 68.12 % del total de aceite contenido en la pulpa; los tratamientos 7 y 8 (microondas-centrifugado a 3169 y 4734 g, respectivamente) dieron como resultados el rendimiento

más alto (66.87 y 68.12 %) donde se utilizó la extracción asistida mediante microondas convencional, similar al reportado por Buenrostro y López-Munguia, (1986) (67 a 70 %) al extraer aceite de la pulpa de aguacate utilizando enzimas ( $\alpha$ -amilasa, celulasa y proteasa; 1 % peso/peso) y centrifugado a 12,300 g durante 10 minutos. Bizimana *et al.* (1993) utilizaron pulpa de aguacate Hass con un pH de 5.5 y una fuerza centrífuga de 6000 g obteniendo rendimientos del 71 a 72 %, alcanzando el 78 % cuando la velocidad de centrifugado fue aumentada a 12300 g.

En los tratamientos T 3, T 4, T 5 y T 6 los resultados fueron inferiores a lo encontrado por Werman y Neeman, (1987) al extraer aceite de aguacate variedad Fuerte donde la pulpa tenía un pH 5.5 y también se adicionó cloruro de sodio (NaCl al 5 %) alcanzando el 72.7 y 75.3 % del total del aceite. Bizimana *et al.* (1993) reportaron rendimientos similares (71.3 a 72 %) al ajustar el pH de la pulpa a 5.5 y adicionando carbonato de sodio ( $\text{CaCO}_3$  al 5 %) (69.8 %); sin embargo esto implica la utilización de ácido clorhídrico para la acidificación de la pulpa y sales inorgánicas los cuales tienen efectos corrosivos en el equipo de extracción. El tratamiento T 9 no mostró diferencias significativas con los tratamientos T 5 y T 6 ( $p > 0.05$ ) siendo inferior al reportado por Moreno *et al.* (2003) quienes extrajeron el aceite de la pulpa de aguacate 'Hass' con la utilización de un microondas convencional y prensado con una tela.

Los tratamientos T 1 y T 2 fueron los que mostraron menor rendimiento (38.25 y 44.25%) respectivamente. El T 1 dio un rendimiento similar al reportado por Ariza-Ortega *et al.* (2011) (38.3 %) quienes utilizaron pulpa deshidratada y centrifugado a 15,557 g mientras que el tratamiento T 2 fue superior al reportado por los autores mencionados.

Cuadro 9. Extracción de aceite mediante centrifugado

Tratamiento	pH	Sal (5 %)	Microondas	Centrifugado	g	(%) aceite recuperado
T 1	6.7	-	-	30 minutos	2504	38.25 f
T 2	6.7	-	-	30 minutos	3913	44.25 e
T 3	5.5	-	-	30 minutos	2504	50.62 c
T 4	5.5	-	-	30 minutos	3913	56.25 b
T 5	5.5	CaCO <sub>3</sub>	-	30 minutos	2504	45.00 ed
T 6	5.5	CaCO <sub>3</sub>	-	30 minutos	3913	47.74 ed
T 7	6.7	-	2 minutos	30 minutos	3169	66.87 a
T 8	6.7	-	2 minutos	30 minutos	4734	68.12 a
T 9	6.7	-	2 minutos	5 minutos	3169	47.74 cd

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), g: gravedad, unidad de fuerza centrífuga relativa.

### 3.3.4 Fenoles totales y actividad antioxidante de la pulpa

**3.3.4.1 Fenoles totales.** El contenido de fenoles totales (FT) en la pulpa sin grasa de chinene fue de 2.99 mg equivalentes de ácido gálico (EAG g<sup>-1</sup> bs) con base en el peso seco y de 1.44 mg EAG g<sup>-1</sup> con base en el peso húmedo, Wang *et al.* (2010) analizaron el contenido de FT en la pulpa de variedades de aguacate de diferentes cultivares de raza Guatemalteca y Antillana encontrando valores en el intervalo de 0.6 a 1.3 mg equivalentes de ácido gálico EAG g<sup>-1</sup> bs asimismo en pulpa de aguacate 'Hass' reportaron 4.9 mg EAG g<sup>-1</sup>bs sin embargo otros autores han encontrado valores menores con respecto al de la pulpa de frutos de *P. schiedeana*, 1.3 mg EAG g<sup>-1</sup> bs (Soong y Barlow, 2004), 1.18 mg EAG g<sup>-1</sup> bh (Corral-Aguayo *et al.*, 2008), 1.0 mg EAG g<sup>-1</sup> bs (Matsusaka y Kawabata, 2010) todos determinados en aguacate Hass, 1.42 a 2.46 mg EAG g<sup>-1</sup> bh en variedades Bacon, Zutano, Fuerte y Hass (Golukcu y Ozdemir, 2010), 0.97 a 1.35 mg EAG g<sup>-1</sup> bh en aguacate Hass (Wang, 2012). Poovarodom *et al.* (2010) y Daiuto *et al.* (2014) reportaron

valores de 3.35 y 3.3 mg EAG g<sup>-1</sup> bs, respectivamente en aguacate 'Hass' el cual fue ligeramente superior al de *P. schiedeana*. La variación en el contenido de fenoles totales es altamente afectado por las características propias de las frutas, variedad, estado de madurez, condiciones agronómicas y manejo postcosecha (Kosińska *et al.*, 2012).

**3.3.4.2 Actividad antioxidante de la pulpa.** La concentración inhibitoria (CI<sub>50</sub>), que es la cantidad necesaria de extracto para reducir en un 50 % al radical libre (DPPH<sup>·</sup>) de la pulpa sin grasa de chinene tuvo un valor de 3.02 mg mL<sup>-1</sup> bs (6.3 mg mL<sup>-1</sup> bh), este valor fue más bajo que el encontrado por Villa-Rodríguez *et al.* (2011) en aguacate Hass (93.4 mg mL<sup>-1</sup> bh); es decir con una menor cantidad de muestra por mililitro se logra reducir el DPPH<sup>·</sup> en un 50 %.

La capacidad relativa de secuestro de DPPH<sup>·</sup> (CRSD) de la pulpa de chinene fue de 7.8 μmol ET g<sup>-1</sup> bs (3.82 μmol ET g<sup>-1</sup> bh), el chinene tuvo una capacidad mayor con respecto al aguacate Hass de acuerdo a los datos obtenidos por varios autores, 2 μmol ET g<sup>-1</sup> bh (Corral-Aguayo *et al.*, 2008), también a cinco cultivares de aguacate y aguacate 'Hass'; 0.4 a 1.3 y 1.3 μmol ET g<sup>-1</sup> bh (Wang *et al.*, 2010) respectivamente. Sin embargo también se han encontrado valores superiores al de chinene, 8.1 μmol ET g<sup>-1</sup> bh (Daiuto *et al.*, 2014) en aguacate Hass. La pulpa de chinene tiene características similares a las del aguacate en cuanto a su actividad antioxidante, teniendo potencial para ser usada como subproducto de alto valor nutricional, algunos de los usos de la pulpa residual después de la extracción de aceite del aguacate Hass son como alimento para el ganado en Nueva Zelanda, aunque existe demanda en el mundo para su utilización en cosméticos, suplementos nutraceuticos y productos alimenticios como guacamole rehidratado, batidos

y alimentos para bebe, en el contexto actual se produce pulpa de aguacate en polvo en Nueva Zelanda (AvoPure, 2013).

### **3.3.5 Actividad antioxidante del aceite de chinene**

**3.3.5.1 Ensayo DPPH en aceite.** En el Cuadro 10 se muestra la concentración inhibitoria ( $CI_{50}$ ) del aceite de chinene, obtenido mediante centrifugado (T 1 a T 9). Los tratamientos mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), entre los tratamientos T 3, T 4, T 7 y T 8 los valores fueron similares (118.53 a 118.92 mg mL<sup>-1</sup>), para los tratamientos T 3 y T 4 la pulpa fue acidificada mientras que para los tratamientos T 7 y T 8 el pH no fue modificado. Los tratamientos T 1, T 2, T5 y T6 fueron estadísticamente iguales ( $p > 0.05$ ), los valores fueron de 116.18 a 116.38 mg mL<sup>-1</sup>, a los tratamientos T 5 y T 6 fue agregado CaCO<sub>3</sub>.

Lavelli, (2002) reportó valores de 27.9 a 30.6 mg mL<sup>-1</sup> en aceite de oliva obtenido en laboratorio, asimismo concentraciones de 56 a 156 mg mL<sup>-1</sup> en aceites de oliva comercial, los valores obtenidos en aceite de chinene estuvieron dentro de ese intervalo. El tratamiento T 9 fue el que tuvo la mejor actividad antioxidante a una concentración ( $CI_{50}$ ) de 41.76 de mg mL<sup>-1</sup> siendo el que con menor cantidad de aceite por mililitro reduce en un 50 % al radical DPPH. De acuerdo con Laincer *et al.* (2014) en el aceite de olivo la mayor actividad antioxidante está relacionada con la presencia de una concentración alta de flavonoides con respecto la totalidad de compuestos fenólicos.

Cuadro 10 Actividad antioxidante del aceite de chinene obtenido mediante centrifugado.

Muestra	Tratamientos				Actividad antioxidante		
	pH	Sal (5 %)	Microondas	Centrifugado	<i>g</i>	CI <sub>50</sub> (mg mL <sup>-1</sup> )	(1/I <sub>50</sub> ) x 100
T 1	6.7	-	-	30 minutos	2504	116.18 b	0.86 b
T 2	6.7	-	-	30 minutos	3913	116.23 b	0.86 b
T 3	5.5	-	-	30 minutos	2504	118.53 a	0.84 a
T 4	5.5	-	-	30 minutos	3913	118.67 a	0.84 a
T 5	5.5	CaCO <sub>3</sub>	-	30 minutos	2504	116.18 b	0.86 b
T 6	5.5	CaCO <sub>3</sub>	-	30 minutos	3913	116.38 b	0.86 b
T 7	6.7	-	2 minutos	30 minutos	3169	118.77 a	0.84 a
T 8	6.7	-	2 minutos	30 minutos	4734	118.92 a	0.84 a
T 9	6.7	-	2 minutos	5 minutos	3169	41.76 c	2.39 c

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), *g*: gravedad, unidad de fuerza centrífuga relativa.

La adición de agua en aceite de palma causó un cambio en la concentración de los constituyentes como polifenoles, carotenoides, tocoferoles, reduciendo su potencial antioxidante después del refinamiento (Szydłowska-Czerniak *et al.*, 2011), lo cual pudo haber sucedido en los aceites obtenidos mediante centrifugado. Los aceites obtenidos mediante centrifugado tienen un menor contenido fenólico debido a que el agua remueve una proporción significativa de estos (Therios, 2008). En cuanto al poder antiradical [(1/I<sub>50</sub>) x 100] los valores oscilaron desde 0.84 a 2.39, el tratamiento con mayor poder antiradical fue el T 9 (2.39) que tuvo un valor superior al reportado por Campos-Hernández *et al.* (2011) (1.99) en aceite de chinene obtenido mediante maceración con disolventes. Rossi *et al.* (2007) evaluaron la actividad antioxidante de aceites comerciales de olivo, palma y una mezcla de aceite de girasol con avellana reportando valores de 1.67, 1.65 a 1.89 y 2.79 respectivamente. El color característico del aceite de chinene obtenido

mediante microondas y centrifugado fue de color verde esmeralda, de acuerdo con Wong *et al.* (2011) esto es debido a la presencia de pigmentos como la clorofila.

### **3.3.6 Propiedades fisicoquímicas del aceite de chinene**

**3.3.6.1 Porcentaje de ácidos grasos libres.** El porcentaje de acidez del aceite de chinene extraído se muestra en el Cuadro 11, el cual fluctuó de 2.62 a 11.6 % de ácido oleico. Los tratamientos con mayor acidez fueron los tratamientos T 7, T 8 y T 9 (3.94 a 11.6 % de ácido oleico) donde fue utilizado pretratamiento con microondas, Jiménez *et al.* (2001) determinaron el índice de acidez de aceite de aguacate Hass, donde la pulpa fue secada en microondas y el aceite extraído con éter de petróleo, encontrando un valor menor al 2 %. De igual forma Moreno *et al.* (2003) encontraron valores menores al 2 % de ácido oleico en aceite extraído de pulpa de aguacate Hass mediante microonda-prensado y microonda-hexano (0.44 y 0.27 %), los tratamientos T 7 y T 8 tuvieron valores cercanos a lo reportado por Adama y Edoga, (2011) quienes extrajeron el aceite de la pulpa de aguacate mediante arrastre de vapor; a su vez fueron inferiores al de aceite de aguacate extraído mediante prensado en frío (4.63 %) (Duque *et al.*, 2012).

Todos los tratamientos (Cuadro 11) tuvieron valores mayores a los límites permitidos en la norma mexicana para aceite de aguacate (1.5 %) (NMX-F-052-SCFI-2008) y el CODEX STAN-19-1981, para grasas y aceites no descritos en normas individualmente, el cual especifica un límite de 2 % de ácido oleico. Sin embargo a excepción del tratamiento T 9, los valores están cercanos al permitido por la norma CODEX STAN 33-1981 para aceite de olivo (3.3 %). Hassanein *et al.* (2003) reportaron un incremento en el índice de acidez de aceites vegetales sometidos a calentamiento con microondas. El incremento en el IA podría atribuirse a la hidrólisis de triglicéridos debido a las

microondas con la producción de ácidos grasos libres (Anjum, *et al.*, 2006). El aceite obtenido con tratamientos donde se utilizó microondas pudieran ser utilizados con fines cosméticos debido al elevado índice de acidez, aceites como el de aguacate se han utilizado con este fin debido a su alta absorción y penetración en la piel (Wong *et al.*, 2010), los primeros usos del aceite de aguacate obtenido con altas temperaturas fue utilizado con propósitos cosméticos (Wong *et al.*, 2008). El aceite de aguacate es una de las principales fuentes para la elaboración de productos cosméticos para el cuidado de la piel.

Cuadro 11. Índice de acidez y peróxidos del aceite extraído mediante centrifugado de la pulpa de *Persea schiedeana* Nees.

Aceite	Índices	
	Acidez (% de ácido oleico)	Peróxidos (meq O <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> )
T 1	2.62 d	2.89 e
T 2	2.69 d	2.88 e
T 3	2.95 cd	4.09 d
T 4	2.94 cd	4.34 c
T 5	3.24 c	8.68 a
T 6	3.28 c	8.67 a
T 7	3.94 b	7.22 b
T 8	3.94 b	7.22 b
T 9	11.6 a	7.21 b

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**3.3.6.2 Índice de peróxidos.** El índice de peróxidos en el aceite centrifugado mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), presentando valores desde 2.88 a 8.68 meq O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>. Estos tuvieron un contenido menor con respecto al aceite de chinene reportado por Campos-Hernández *et al.* (2011) encontrándose dentro de los límites establecidos en la norma mexicana para aceite de aguacate (NMX-F-052-SCFI-2008). De igual forma con



el encontrado por Quiñones-Islas *et al.* (2013) en aceite de aguacate comercial libre de aditivos. Lainer *et al.* (2014) obtuvieron valores en el intervalo de 3.25–8.75 meq O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> en aceite de olivo procesado mediante molino de martillos y centrífuga en un equipo a escala de laboratorio, de igual forma el IP de aceites de aguacate prensado en frío se ubicaron en el intervalo de 4.42 a 15.74 meq O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> (Prescha, *et al.*, 2014), algunos de estos con un grado de oxidación mayor al aceite de chinene centrifugado.

EL IP de los tratamientos T 7, T 8 y T 9 fueron mayores a los tratamientos T 1, T 2, T 3 y T 4, Vieira *et al.* (2001) reportaron un incremento en el IP de aceite de canola al ser sometido a calentamiento en microondas convencional, asimismo la formación de peróxidos es mayor en aceites durante el calentamiento en microondas (Lukešová *et al.*, 2009).

**3.3.6.3 Índice de yodo.** El índice de yodo del aceite centrifugado osciló de 65.56 a 80.26 gramos de yodo por 100 g de aceite (g I<sub>2</sub> 100 g<sup>-1</sup>) donde hubo diferencias significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ), estos valores se encuentran fuera del intervalo especificado en la norma mexicana para aceite de aguacate (85 a 90 g I<sub>2</sub> 100 g<sup>-1</sup>) (NMX-F-052-SCFI, 2008), el tratamiento T 9 presentó un valor dentro de lo establecido en la norma mexicana para el aceite de olivo (75-94 g I<sub>2</sub> 100 g<sup>-1</sup>) (NMX-F-109-SCFI, 2006), Moreno *et al.* (2003) reportaron un índice de yodo de 87.6 en aceite de aguacate 'Hass' extraído con microondas y prensado mecánico de la pulpa. Campos-Hernández *et al.* (2011) para aceite de aguacate y de oliva. El índice de yodo es un indicador donde a mayor cantidad de dobles enlaces en los ácidos grasos mayor cantidad de yodo absorbido (O'Brien *et al.*, 2005)

Cuadro 12. Índice de yodo y saponificación del aceite extraído mediante centrifugado de la pulpa de *Persea schiedeana* Nees.

Aceite	Índices	
	Yodo (g I <sub>2</sub> 100 g <sup>-1</sup> )	Saponificación (mg KOH g <sup>-1</sup> )
T 1	69.75 bc	180.28 a
T 2	70.63 b	180.28 a
T 3	65.56 d	170.56 cd
T 4	65.85 cd	169.19 ed
T 5	67.07 bcd	167.42 ed
T 6	66.69 bcd	165.44 e
T 7	66.5 cd	174.04 bc
T 8	68.82 cbd	175.57 b
T 9	80.26 a	173.85 bc

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**3.3.6.4 Índice de saponificación.** En cuanto al índice de saponificación hubo diferencias significativas entre los tratamientos de aceite centrifugado (Cuadro 11) ( $p \leq 0.05$ ) con valores desde 165.44 hasta 180.28 mg KOH por gramo de aceite. Los tratamientos T 1 y T 2 tuvieron los valores más altos de IS, estos tratamientos fueron obtenidos mediante la mezcla de la pulpa con agua caliente y centrifugado, Kameni y Tchamo, (2003) obtuvieron aceite de aguacate mezclando la pulpa con agua caliente y reportaron un índice mayor a estos tratamientos. En los aceites obtenidos de pulpa tratada con microondas no hubo diferencias ( $p > 0.05$ ), Moreno *et al.* (2003) obtuvieron valores de 235 y 241 mg KOH g<sup>-1</sup>, en tratamientos con microondas-hexano y microondas-presión mecánica respectivamente. Diversos autores han reportado índices de saponificación mayores al encontrado en este estudio (Bora *et al.*, 2001; Jiménez *et al.*, 2001; Ortiz *et al.*, 2004; Salgado *et al.*, 2008; Campos-Hernández *et al.*, 2011; Duque *et al.*, 2012; Hamzah, 2013) con valores de 178.3, 203 a 262, 168 a 273, 184, 197.13, 175, 194 mg KOH g<sup>-1</sup>. Los aceites vegetales con valores altos de IS indican la presencia de mayor cantidad de ácidos grasos

de cadena larga como ácido linoleico y linolénico (Kevin y David, 2003). Con base en el IS del aceite de chinene, extraído de la muestra Poxtla; tuvo menor cantidad de ácidos grasos linoleico y linolénico y posiblemente mayor cantidad de ácido palmítico con respecto a los aceites obtenidos por los autores citados.

**3.3.6.5 Perfil de ácidos grasos.** El perfil de ácidos grasos del aceite de pulpa de frutos de la muestra Poxtla obtenido mediante tratamiento con microondas y centrifugado (T 7) se muestra en el Cuadro 12. El ácido graso predominante fue el oleico (53.7 %), seguido del ácido palmítico (30.68 %), ácido palmitoleico (6.8 %) y el ácido linoleico (4.31 %). Bora *et al.* (2001) mencionaron la presencia de estos ácidos grasos en el orden de importancia oleico, palmítico, linoleico para aceites de la pulpa de aguacate variedad Fuerte, a su vez Salgado *et al.* (2008), Takenaga, 2008), Azizi y Najafzadeh, (2008) y Knothe, (2013), encontraron este orden en aceite de aguacate 'Hass', reportes similares existen para aceite de olivo (Samman *et al.*, 2008; Silva, Pinto,, 2010, García-González *et al.*, 2013). Para el aceite de chinene el 65.13 % correspondió a ácidos grasos insaturados (AGI), mientras que el 32.56 % fue de ácidos grasos saturados (AGS). El contenido de ácido oleico de la muestra Poxtla fue superior al encontrado por Joaquín-Martínez *et al.* (2007) y Cruz-Castillo *et al.* (2007) en muestras de 6 localidades de la región de los Tuxtlas estado de Veracruz (37.7 a 49.6 %), Huatusco, Veracruz (39 a 41.7%) y Teapa Tabasco (33.5 %), respectivamente; asimismo fue mayor al de aceite de aguacate 'Hass' (52 %) obtenido por Moreno *et al.* (2003) extraído con microondas convencional prensado mecánico. En el Anexo A se muestran los resultados del perfil de ácidos grasos de dos muestras evaluadas en la Facultad Agraria de la Universidad de Perugia, Italia, de aceite extraído mediante

microondas y prensado de dos colectas de chinene procedentes del municipio de Huatusco, Veracruz, el ácido oleico del aceite tuvo valores del 77.1 al 77.5 %.

Cuadro 13. Perfil de ácidos grasos del aceite de la pulpa de *Persea schiedeana* Nees (muestra Poxtla) extraído mediante microondas y centrifugado.

Ácidos grasos		%
Palmitico	C16:0	30.679
Palmitoleico	C16:1	6.808
Estearico	C18:0	1.88
Oleico	C18:1 $\omega$ 9	53.706
Linoleico	C18:2 $\omega$ 6	4.314
Linolénico	C18:3 $\omega$ 3	0.306
Otros	—	2.154
AGI		65.13
AGS		32.56
AGI / AGS		2.00

AGI: ácidos grasos insaturados, AGS: ácidos grasos saturados, AGI/AGS: ácidos grasos insaturados / ácidos grasos saturados.

Reddy *et al.*, (2012) obtuvieron aceite de aguacate 'Hass' procesado mediante cinco métodos de extracción, con una concentración de ácido oleico menor a la del aceite de frutos de *P. schiedeana* (41.5 a 48.57 %). En el caso del aguacate 'Hass' ha sido reportado que la diferencia en las concentraciones de ácidos grasos del aceite deriva principalmente de factores como las condiciones climáticas, estado de madurez, variedad y exposición al sol, ya que estos afectan la composición de ácidos grasos (Villa-Rodríguez *et al.*, 2011). De acuerdo con Richard *et al.* (2008) algunos ácidos grasos tienen la capacidad de actuar como antioxidantes, la cual depende de su grado de insaturación, entre ellos los ácidos oleico, linoleico, linolénico, araquidónico, eicosapentanoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA).

Aceites comestibles como el de aguacate y olivo son muy similares entre sí, el aceite de olivo es la base de la dieta Mediterránea (Blasa *et al.*, 2010), la clave de esa similitud radica en que el aceite de aguacate es muy rico en ácidos grasos monoinsaturados y muy bajo en grasa saturada, 76 % (ácido oleico y linoleico) y 12 % (palmítico y esteárico) (Birkbeck, 2013); a su vez el aceite de aguacate es altamente digestible (Azizi Najafzadeh, 2008). El aceite de chinene tiene el mayor porcentaje de su composición química como ácido oleico (37.7 a 63 %) y concentraciones de 16 a 36 % de aceites totales (Joaquín-Martínez *et al.*, 2007) (Cruz-Castillo *et al.*, 2007) debido a esto su potencial de uso agroindustrial puede ser considerado, aceites como el de aguacate son altamente demandados para su uso en la industria de alimentos, cosméticos y cuidado de la salud (Yanty *et al.*, 2011) a su vez el aceite de chinene presenta niveles importantes de tocoferoles totales ( $137.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Campos-Hernández *et al.*, 2011).

### **3.3.7 Propiedades mecánicas y valor calorífico del aceite de *Persea schiedeana* Nees**

**3.3.7.1 Densidad.** La densidad del aceite de la pulpa de frutos de *P. schiedeana* oscilaron de  $0.9115$  a  $0.9121 \text{ g cm}^{-3}$  (Cuadro 13). Estos valores se encuentran en el intervalo de densidad de los aceites líquidos ( $0.909 - 0.921 \text{ g cm}^{-3}$ ) (Shahidi, 2005); con valores similares de aceite comercial prensado y refinado de aguacate ( $0.912-0.923 \text{ g cm}^{-3}$ ) (Cibaria, 2013). Los tratamientos del presente trabajo fueron similares a lo reportado por Alvarado, (1995) en aceite de aguacate ( $0.916 \text{ g cm}^{-3}$ ) y Albi *et al.* (1997) al analizar los cambios en parámetros fisicoquímicos de aceites comestibles de girasol y olivo al ser calentados en horno convencional y microondas ( $0.909$  a  $0.917 \text{ g cm}^{-3}$ ), también concuerda con Moreno *et al.* (2003) al comparar el efecto del método de extracción en las propiedades fisicoquímicas del aceite de aguacate Hass ( $0.910 \text{ g cm}^{-3}$ ); a su vez estos

valores están dentro de lo establecido en la norma oficial mexicana NMX-F-052-SCFI-2008.

Cuadro 14. Densidad del aceite de *Persea schiedeana* Nees a 20 ° C obtenido mediante centrifugado

Tratamientos	Densidad (g cm <sup>-3</sup> )
T 1	0.9119
T 2	0.9121
T 3	0.9115
T 4	0.9117
T 5	0.9131
T 6	0.9115
T 7	0.9118
T 8	0.9118
T 9	0.9121

La densidad de los aceites líquidos es dependiente de la composición de sus ácidos grasos (Przybylski *et al.*, 2005), así también del tiempo y temperatura al cual son sometidos. En la Figura 1. Se muestra la densidad de los tratamientos de mayor (T 7 y T 8) y menor rendimiento de aceite centrifugado (T 1) comparado con el aceite de girasol reportado en la literatura (AG1) (Esteban *et al.*, 2012) y (AG2) (García-Zapateiro *et al.*, 2013). La densidad del aceite de pulpa de *P. schiedeana* es menor a la de aceite de girasol, debido a que contiene mayor cantidad de ácido linoleico (51.3 %) (AG1) y ácido oleico (81.5 %) (AG2) que el chinene (4.3 y 53.7 % respectivamente), en un complejo lípido la densidad aumenta a mayor peso molecular de los ácidos grasos presentes en la matriz y con mayor proporción de ácidos insaturados (Kevin y David, 2003), a su vez la densidad de un aceite vegetal disminuye de forma lineal con el incremento de la temperatura (Esteban *et al.*, 2012).

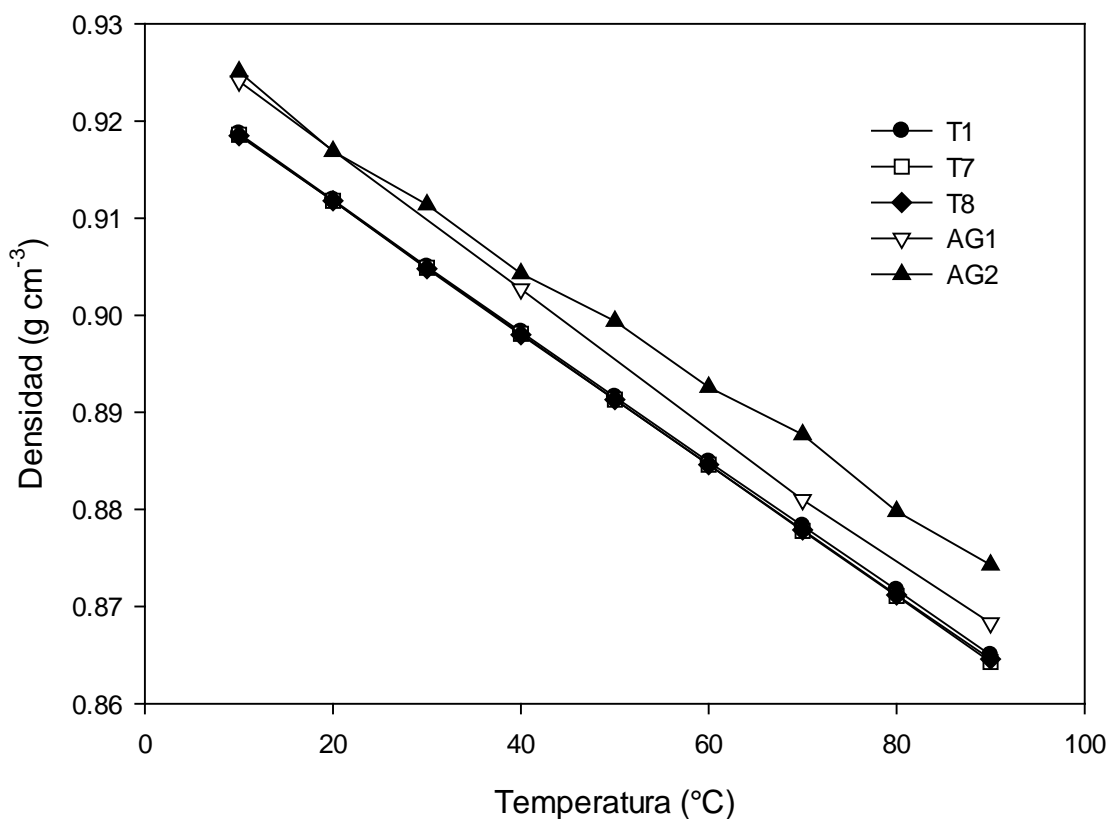


Figura 1. Comparación de la densidad del aceite de chinene de los tratamientos T 1, T 7 y T 8, y de aceite de girasol AG1 (Esteban *et al.*, 2012) y AG2 (García-Zapateiro *et al.*, 2013).

La densidad es una característica importante de cualquier sustancia, es una medida de la masa por unidad de volumen de la sustancia, la densidad es altamente sensible a la temperatura (Esteban *et al.*, 2012).

**3.3.7.2 Viscosidad dinámica.** La viscosidad dinámica del aceite de chinene se muestra en el Cuadro 14. La viscosidad de los tratamientos fue mayor al encontrado en aceite de aguacate (63.3 mPa•s) (Alvarado, 1995). Los tratamientos T 7 y T 8 tuvieron la viscosidad más alta con relación a los demás tratamientos 84.44 y 84.34 mPa•s, respectivamente.

(Albi et al., 1997) reportaron un incremento en la viscosidad al analizar aceites de olivo expuestos a la energía de microondas y horno convencional, este incremento está directamente relacionado con la formación de dímeros y polímeros o incremento en la longitud de la cadena de carbonos.

Cuadro 15. Viscosidad dinámica del aceite de *Persea schiedeana* Nees a 20 °C obtenido mediante centrifugado.

Tratamientos	Viscosidad dinámica (mPa•s)
T 1	82.83
T 2	82.27
T 3	82.29
T 4	81.96
T 5	83.36
T 6	83.22
T 7	84.44
T 8	84.34
T 9	81.53

La viscosidad dinámica del aceite de pulpa de *P. schiedeana* (Figura 2) de los tratamientos T1, T 7, T 8, fueron comparados con el aceite de girasol (AG1) reportado por (Esteban *et al.*, 2012) (Figura 2). El aceite de chinene presentó mayor viscosidad dinámica a 20 °C que el aceite de girasol, 81.53 a 84.44 mPa•s para chinene y 73.45 mPa•s para girasol, la presencia de mayor cantidad de ácidos grasos monoinsaturados incrementa la viscosidad y los ácidos grasos poliinsaturados causan la disminución de la viscosidad de los aceites vegetales (Rodriguez *et al.*, 2006). A más altas temperaturas la medida de la viscosidad fue muy similar entre los aceites de chinene y girasol (Figura 2) debido a que al



incrementarse la efectividad de la energía térmica, minimiza la diferencia estructural entre las moléculas de aceite lo que normaliza los datos de viscosidad.

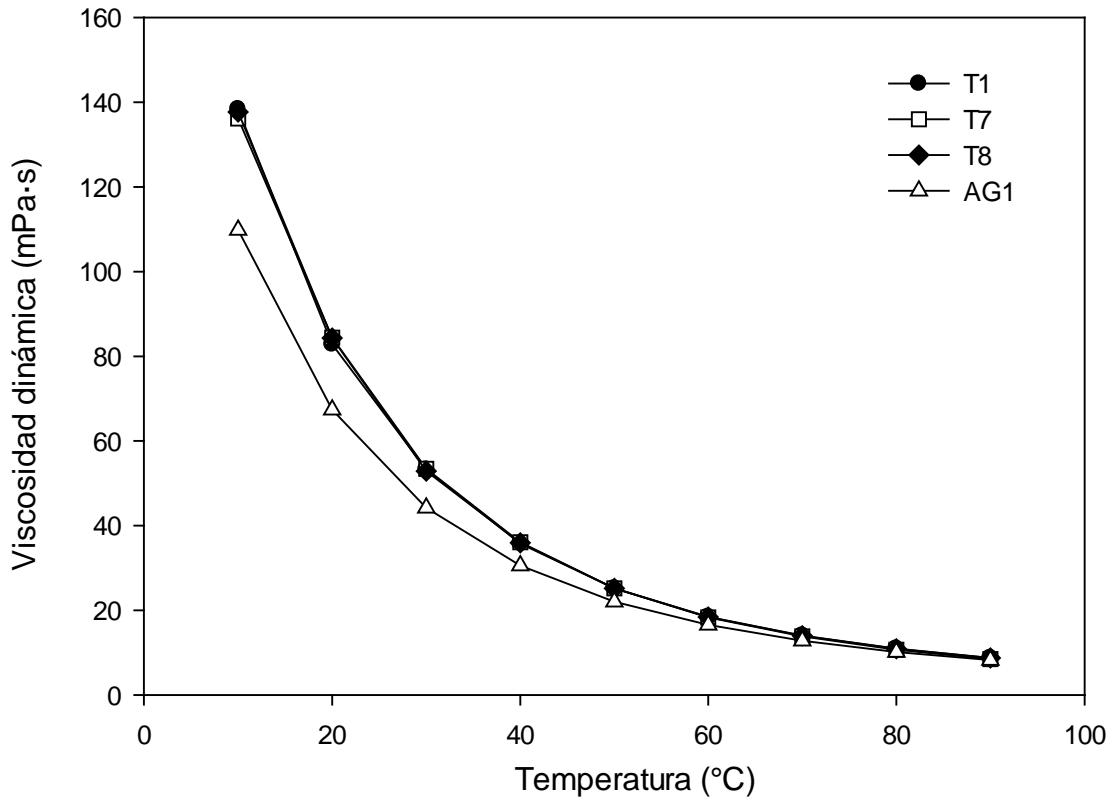


Figura 2. Comparación de la viscosidad dinámica del aceite de chinene de los tratamientos T 1, T 7 y T 8, y de aceite de girasol AG1 (Esteban *et al.*, 2012).

**3.3.7.3 Viscosidad cinemática.** La viscosidad cinemática del aceite de chinene fue comparada con la de aceite de girasol (Figura 3), la viscosidad del aceite de pulpa de *P. schiedeana* es mayor a la del aceite de girasol reportado en la literatura (Esteban *et al.*, 2012), la insaturación de los ácidos grasos y su tamaño molecular influye en la viscosidad cinemática (Toscano y Duca, 2012), a su vez los ácidos grasos saturados tienen viscosidad mayor a los insaturados porque su estructura molecular admite cercana proximidad de las cadenas de carbono, permitiendo la interacción molecular (Kevin, 2003). El aceite de chinene presentó 32.56 % de ácidos grasos monoinsaturados (Cuadro 16) y el aceite de girasol tuvo 9.6 % (Rodríguez *et al.*, 2006).

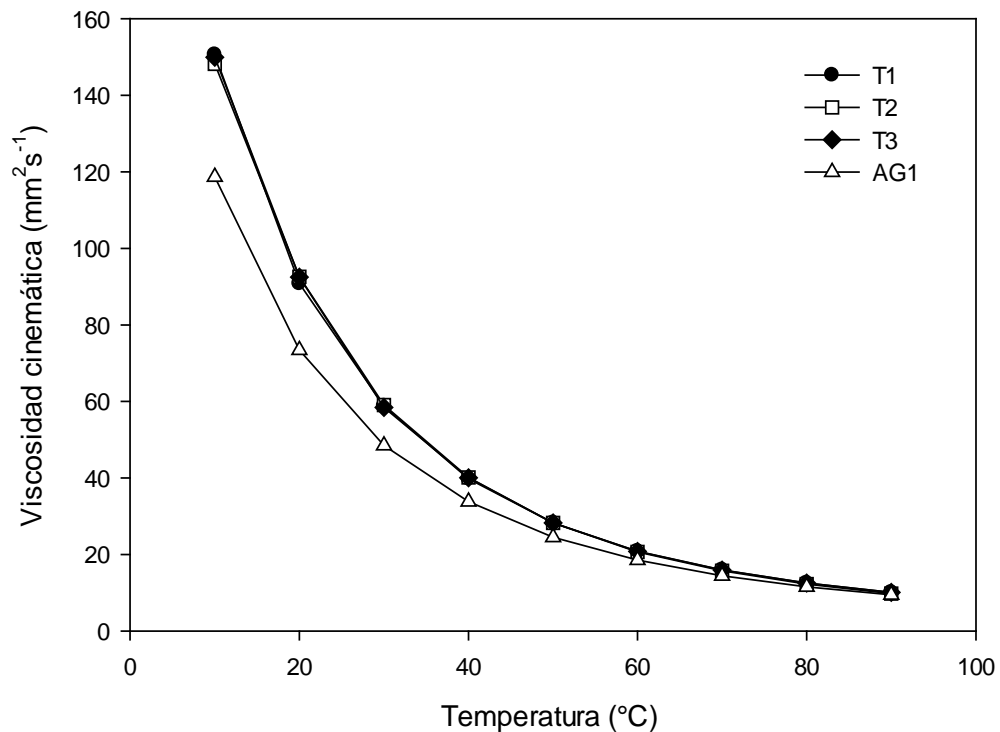


Figura 3. Comparación de la viscosidad cinemática del aceite de chinene de los tratamientos T 1, T 7 y T 8, y de aceite de girasol (AG1) (Esteban *et al.*, 2012).

La viscosidad de un aceite incrementa con la longitud de la cadena (número de átomos de carbono) (Gerhard, 2010) y la concentración de ácidos grasos saturados y disminuye con el contenido de poliinsaturados (Franco y Nguyen, 2011). La viscosidad es una propiedad de importancia de alimentos fluidos, la cual tiene muchas aplicaciones en tecnología de alimentos, como el desarrollo de procesos, control de productos, evaluación de calidad y como indicador de la estructura del alimento (Cristina Agulheiro, 2012). La viscosidad medida en el aceite de chinene pudiera ser un indicador inicial para inferir si existe cierta cantidad de ácidos grasos saturados o insaturados en comparación con otro aceite vegetal de composición conocida.

**3.3.7.4 Calor de combustión.** El calor de combustión o valor calorífico del aceite de pulpa de frutos de *P. schiedeana* se muestra en el Cuadro 13. El calor de combustión de los tratamientos se ubicaron en un intervalo de 38.88 a 39.36 MJ·kg<sup>-1</sup> los cuales mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), el calor de combustión de los aceites vegetales de soya (39.6), algodón (39.6), girasol (39.5), canola (37.6), cártamo (39.5) y lino (39.48) MJ·kg<sup>-1</sup> ha sido reportado en la literatura, (Ramadhas *et al.*, 2005; Knothe *et al.*, 2010; Ali y Watson, 2014) así como el calor de combustión de aceite no comestible de semilla de ilama (*Annona diversifolia*) (37.2 MJ·kg<sup>-1</sup>) (Reyes-Trejo *et al.*, 2014), los valores de calor de combustión del aceite de chinene solo fueron superiores al del aceite de canola e ilama.

El calor de combustión de los aceites vegetales es superior cuando estos poseen una mayor cantidad de ácidos grasos de cadena larga (Knothe, 2010) e incrementa de acuerdo a la longitud de esta (Levine *et al.*, 2014). El calor de combustión o valor calorífico de los aceites vegetales, como el aceite de chinene, es comparable con el diésel sin embargo estos tienen que ser transesterificados para su utilización como biocombustible (Ramadhas *et*

al., 2005). Knothe, (2013) menciona que el biodiesel de aceite de aguacate cumple con las propiedades combustibles de esteres metílicos de fuentes como la jatropha.

Cuadro 16. Calor de combustión del aceite de *Persea schiedeana* Nees obtenido mediante centrifugado.

Tratamiento	MJ kg <sup>-1</sup>
T 1	39.37 b
T 2	39.41 a
T 3	39.30 c
T 4	39.34 b
T 5	38.88 f
T 6	38.93 e
T 7	39.27 d
T 8	38.94 e
T 9	39.36 b

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 3.3.8 Conclusiones

En la caracterización de los frutos de chinene las diferencias existentes entre las colectas radicaron en el peso del fruto, pulpa, semilla y cáscara. Asimismo existieron variaciones en el porcentaje de aceite total y peso seco. La muestra analizada en cuanto a composición de fenoles totales y actividad antioxidante fue comparada con variedades de aguacate de raza Antillana y Guatemalteca así como aguacate Hass, presentando valores similares o superiores. La extracción de aceite utilizando los tratamientos T 7 y T 8, produjeron el mayor porcentaje de recuperación con 66.87 a 68.12 %. El índice de acidez del aceite fue afectado mayormente en los tratamientos donde se utilizó pretratamiento con microondas, debido principalmente al tratamiento térmico efectuado. El principal ácido graso insaturado en el aceite de chinene fue el oleico al cual se le confieren efectos benéficos a la salud humana.

## IV. CAPÍTULO II. EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA PULPA DE *Persea schiedeana* Nees MEDIANTE CENTRIFUGADO Y CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS

Jácome-Rincón, J., J. G. Cruz-Castillo., D. Guerra-Ramírez., T. Espinosa-Solares

### RESUMEN

El chinene es el fruto del árbol de *Persea schiedeana* Nees su contenido de aceite es de hasta 37 %. El ácido graso principal del aceite de chinene es el oleico, el cual es un ácido graso monoinsaturado. El objetivo de este estudio fue evaluar la extracción de aceite de la pulpa de chinene mediante centrifugado asistida con microondas convencional y determinar el perfil de ácidos grasos del aceite obtenido. La extracción de aceite osciló de 48.82 a 71.17 %, donde el rendimiento más alto de extracción fue obtenido con el tratamiento T B (pulpa pretratada con microondas durante dos minutos y centrifugado a 3913 g) (71.17%). El ácido oleico fue el principal ácido graso insaturado del aceite de chinene, osciló de 61.71 a 71.6 % seguido del ácido linoleico con 3.8 a 4.88 %. Diferencias significativas fueron encontradas en el perfil de ácidos grasos del aceite extraído por cada tratamiento ( $p \leq 0.05$ ). Los tratamientos T B y T C (microondas-centrifugado, microondas-prensado, respectivamente) produjeron mayor cantidad de ácido oleico que el tratamiento T A (centrifugado).

**Palabras clave:** *Persea schiedeana* Nees, aceite de chinene, microondas, centrifugado, perfil de ácidos grasos.

### ABSTRACT

Chinene is the fruit of *Persea schiedeana* Nees tree, its oil content is up to 37 %. The major fatty acid from chinene oil is oleic acid, which is a monounsaturated fatty acid. The objective of this study was to evaluate an oil extraction method from the pulp of chinene using centrifuged assisted by conventional microwave and to determine the fatty acid profile from the oil obtained. The oil extraction ranged from 48.82 to 71.17 %, where the highest yield was obtained from treatment T B (pretreated pulp in microwave by two minutes and centrifuged at 3913 g) (71.17%). The oleic acid was the major insaturated fatty acid from chinene oil, wich ranged from 61.71 to 71.6 %, followed by linoleic acid with 3.8 to 4.88 %. Significant diferences were found on the fatty acid profile of the oil extracted by each treatment ( $p \leq 0.05$ ). Treatments T B and T C (microwave- centrifuge, microwave-press, respectively), produced higher amounts of oleic acid than treatment T A (centrifuge).

**Keywords:** *Persea schiedeana* Nees, chinene oil, microwave, centrifuge, fatty acid profile.

## 4.1 Introducción

El fruto de *Persea schiedeana* Nees conocido comúnmente como chinene tiene en promedio de 24.7 a 36 % de aceites totales Joaquín-Martínez *et al.* (2007), su composición de ácidos grasos consiste principalmente en ácido palmítico y oleico, 24.4 a 34.3 y 37.7 a 57 respectivamente. El aceite es un producto valioso que puede ser extraído de algunas frutas, nueces y semillas, con muchos usos en los sectores de alimentos, farmacéutico y cosméticos (Terigar *et al.*, 2011).

El aguacate no es considerado como una fuente primaria de aceite, Werman y Neeman, (1987) estudiaron la extracción de aceite de la pulpa utilizando la fuerza centrífuga, Ortiz *et al.* (2004) evaluaron la extracción asistida con microondas y hexano, Reddy *et al.* (2012) utilizaron diferentes métodos combinados con hexano además de extracción mediante fluidos supercríticos, donde pulpa liofilizada es colocada en un extractor de CO<sub>2</sub> supercrítico aplicando temperaturas menores a 50 ° C y presión de 240 bar. La radiación de microondas también ha sido utilizada para la extracción de aceite de semillas debido a que reduce el tiempo de proceso y ahorra energía en lugar de utilizar tratamiento térmico convencional porque la energía es llevada directamente a través del material, proporcionando el tratamiento uniforme de las microondas (Azadmard-Damirchi *et al.*, 2010).

Los aceites vegetales son la principal fuente de lípidos comestibles, alrededor del 75 % del aceite es extraído del endospermo de oleaginosas como la soya o canola, mientras que el restante 25 % es del pericarpio de frutas como palma y olivo (Rajasekharan y Nachiappan, 2010). En el aguacate los lípidos son almacenados como componentes de reserva en el idioblasto, un tipo de célula especializada del mesocarpio en forma de

triglicéridos. Los principales ácidos grasos en triglicéridos son los ácidos palmítico (16:0), palmitoleico (16:1), oleico (18:1) y linoleico (18:2), de los cuales las cantidades pueden cambiar de acuerdo a la variedad, madurez, procesamiento y condiciones de almacenamiento (Rodrigo *et al.*, 2012).

Los triglicéridos en alimentos proveen saciedad y coadyuvan en la provisión y absorción de vitaminas liposolubles (A, D, E, K) (Oke, 2012). Aceites como el de olivo son ricos en el ácido graso monoinsaturado oleico que es considerado como un ingrediente saludable para el consumo humano (Paliyath *et al.*, 2012). Las propiedades físicas y químicas de los triglicéridos son variables y dependientes de la longitud de la cadena de ácidos grasos, número de dobles enlaces y posición, así también reacciones como la oxidación o lipólisis afecta el comportamiento de los triglicéridos (Yada *et al.*, 2012).

Ha sido reportado que el calentamiento mediante microondas del aceite vegetal tiene influencia en el perfil de ácidos grasos poliinsaturados de acuerdo al tiempo de exposición a la radiación (Hassanein *et al.*, 2003). Reddy *et al.* (2012) investigaron el cambio en el perfil de ácidos grasos de aguacate ‘Hass’ debido a cinco tratamientos empleados para la extracción, la extracción mediante microondas produjo aceite de mejor calidad que extracción Soxhlet. El procesamiento mediante microondas es una técnica con potencial para la extracción de aceite y otros componentes funcionales de materia prima de plantas. El aceite obtenido de la pulpa del fruto del árbol de aguacate (*Persea americana*) recientemente ha recibido interés debido a su valor nutricional (Knothe, 2013). A su vez el aceite de chinene ha sido extraído mediante maceración con disolventes (Campos-Hernández *et al.*, 2011) sin embargo la extracción del aceite no ha sido explorada mediante métodos sin la utilización de disolventes. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar

la extracción de aceite de la pulpa de chinene mediante centrifugado y asistido con microondas convencional así como determinar el perfil de ácidos grasos del aceite obtenido y sus posibles cambios debido al método de extracción.

## **4.2 Materiales y métodos**

### **4.2.1 Material vegetal**

Se utilizaron frutos de *Persea schiedeana* Nees de tres colectas (19 a 24 frutos), procedentes de tres árboles los cuales fueron identificados como Huatusco 1 (H 1), Huatusco 2 (H 2) y Durazno 2 (D 2) de la región de Huatusco, Veracruz; México. Los árboles se encontraban sin ningún manejo agronómico, tenían una altura de 10 a 25 metros y una edad de 15 a 30 años aproximadamente.

### **4.2.2 Acondicionamiento de los frutos**

Los frutos fueron lavados con agua potable, la cáscara fue retirada; la pulpa extraída y mezclada para obtener una pasta homogénea, el pH medido de la pasta fue aproximadamente 6.7.

### **4.2.3 Métodos de extracción de aceite**

Se utilizaron tres métodos para la extracción mediante centrifugado de aceite de la pulpa de chinene. La pulpa de la muestra Huatusco 2 fue utilizada para evaluar el rendimiento de extracción de aceite mediante los tratamientos T A (30 min., de centrifugado a 3913 g), T B (microondas 2 min., 30 min. de centrifugado a 3913 g) y T C (microondas 2 min. prensado mecánico, 5 min. de centrifugado a 3913 g) (Cuadro 17). Cada una de las extracciones fue llevada a cabo cinco veces por cada tratamiento.



**4.2.3.1 Extracción mediante centrifugado.** Se utilizaron en total 450 g de pulpa de chinene, para cada repetición 30 g de pulpa fueron mezclados con 90 g de agua destilada (Werman y Neeman, 1987), el agua fue previamente colocada a ebullición en una parrilla, la mezcla agua-pulpa fue agitada constantemente durante cinco minutos (Bizimana *et al.*, 1993). Posteriormente se condujo la extracción del aceite con una centrífuga de acuerdo con la metodología de Bizimana *et al.* (1993) y Moreno *et al.* (2003) con modificaciones (Cuadro 17), con una velocidad de centrifugado de 3913 g, pretratamiento de la pulpa en microondas convencional a la potencia máxima (2 minutos). Se realizaron cinco repeticiones por cada tratamiento.

Cuadro 17. Tratamientos para la extracción de aceite de la pulpa de *Persea schiedeana* Nees mediante centrifugado.

Tratamientos	Microondas	Tiempo de centrifugado	g
T A	0 minutos	30 minutos	3913
T B	2 minutos	30 minutos	3913
T C	2 minutos	5 minutos	3913
Soxhlet	-	-	-

#### 4.2.4 Determinación de ácidos grasos del aceite de chinene

Para la cuantificación de ácidos grasos se utilizaron 10 frutos por cada colecta de chinene, (H 1), (H 2) y (D 2); de los cuales el aceite fue extraído mediante centrifugado con los tratamientos descritos previamente, a su vez se produjo la extracción de aceite de la pulpa de las colectas mencionadas mediante el equipo Soxhlet.

**4.2.4.1 Extracción Soxhlet.** 100 gramos de pulpa fresca de chinene fueron colocados en un cartucho de papel filtro y acondicionados en un aparato de destilación Soxhlet, 250 mL de hexano fueron añadidos en un matraz bola, la muestra fue colocada a reflujo durante 18 horas ajustándose el calentamiento de forma que el extractor mantuviera un reflujo constante, al finalizar el disolvente fue removido en un rotavapor (Büchi Rotovapor, Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland) aplicando vacío y en baño de vapor a 40 °C. El aceite fue secado a través de una corriente de nitrógeno, pesado y colocado en frascos ámbar y almacenado en refrigeración hasta su análisis. Cinco repeticiones fueron efectuadas para cada muestra.

**4.2.4.2 Perfil de ácidos grasos del aceite de chinene.** El aceite obtenido de la pulpa de *Persea schiedeana* Nees fue sometido a una reacción de esterificación ácida con metanol utilizando la metodología de (Zhang y Jiang, 2008) con modificaciones, debido a que el índice de acidez del aceite de chinene fue superior al 2 %, utilizando como catalizador ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Cinco gramos de aceite de chinene fueron colocados en un matraz bola, por separado fue preparada una mezcla de metanol: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; a 37.5 mL de metanol fueron agregados 2.5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y la mezcla fue añadida al aceite, el matraz fue colocado sobre un baño de agua, junto con un condensador de reflujo sobre una parrilla ajustándose la temperatura de reacción y la mezcla fue agitada a 800 rpm. El tiempo de reacción fue de dos horas a una temperatura de 60 ° C.

Después de llevada cabo la reacción la mezcla fue colocada en un embudo de separación y la parte superior de metanol-agua fue removida. Se efectuaron lavados con 20 mL de agua destilada tres veces midiendo el pH de la mezcla asegurando que el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> haya sido

eliminado completamente. Posteriormente fue transferido a un matraz y evaporado en un rotavapor (Büchi Rotovapor, Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland).

El aceite pretratado fue sometido a una reacción de transesterificación alcalina, colocándolo nuevamente en un matraz bola, sobre un baño de agua, acoplado al condensador de reflujo y calentado a 60 °C. Una mezcla de metanol (1 mL) e hidróxido de potasio (0.035 g) fue añadida al matraz de reacción. La mezcla reaccionó durante una hora con agitación constante a 800 rpm. Después de completada la reacción el producto fue colocado en un embudo para la separación de los esteres metílicos (biodiesel) y fue dejada reposar durante un día. Posteriormente la capa inferior de glicerina fue descartada, para evitar la emulsificación después de la reacción 0.1% de ácido cítrico y agua caliente fueron usados para remover el catalizador. Finalmente los esteres metílicos de ácidos grasos fueron secados con sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua (Marroquín-Andrade *et al.*, 2011).

Los ésteres metílicos de los ácidos grasos se analizaron por cromatografía de gases en un equipo marca Agilent 6890 con un detector de ionización de flama (FID), utilizando una columna ATSilar (30 m × 0.25 mm d.i. × 0.25 μm de espesor de película). La temperatura inicial del horno fue de 170 °C y se establecieron rampas de 10 °C por minuto hasta alcanzar una temperatura final 240 °C. Tanto en el inyector como detector, la temperatura fue 260°C. Se utilizó hidrógeno como gas acarreador, a una velocidad de flujo de 1.8 mL min<sup>-1</sup>. Como estándar se utilizaron ésteres metílicos de ácidos grasos, cuyos tiempos de retención fueron utilizados para cuantificar los ésteres metílicos de ácidos grasos en la muestra.

#### **4.2.5 Análisis de datos**

Se condujo un diseño completamente al azar con tres tratamientos (T A, T B, T C) aplicándose un análisis de varianza con comparación de medias de Tukey (0.05). El efecto de los métodos de extracción en el perfil de ácidos grasos fue analizado mediante un análisis de varianza empleándose la comparación de medias de Tukey (0.05). Se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2009).

### **4.3 Resultados y discusión**

#### **4.3.1 Extracción de aceite de la pulpa de chinene mediante centrifugado**

En la Figura 4 se muestra el porcentaje de recuperación de aceite de la pulpa de chinene de los tratamientos analizados, la muestra de pulpa utilizada para aplicar los tratamientos fue Huatusco 2 (23.66 % de aceite total y 57.8 % de humedad). Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ), los resultados oscilaron desde 48.82 a 71.17 % del aceite total. El tratamiento T C fue el de menor aceite recuperado, mientras que el tratamiento T B fue el que tuvo mejor porcentaje de recuperación. Comparado con el estudio previo (Capítulo 1) el tratamiento T B fue 4.28 % superior al tratamiento T 8, que fue el que mejor rendimiento de extracción mostró, a su vez el tratamiento T A fue mayor a los tratamientos donde no se aplicó pretratamiento a la pulpa con microondas (T 1 al T 6), el tratamiento T C fue 2.19 % superior al tratamiento T 9, donde fue aplicada a la pulpa el pretratamiento con microondas y el aceite obtenido con prensado a través de una tela, pero la velocidad de centrifugado fue aumentada en 740 g aproximadamente, obteniéndose así una mayor cantidad de aceite recuperado.

Mediante el tratamiento T B se obtuvo el 71.17 % de aceite, siendo mayor al obtenido por Buenrostro y López-Munguia, (1986) quienes realizaron la extracción de aceite de la

pulpa de aguacate Hass utilizando enzimas y centrifugado a 12300 g logrando rendimientos del 67 a 70 %. A su vez el tratamiento T B fue similar al encontrado por Bizimana *et al.* (1993) mediante centrifugado a 6000 g y pH de la pulpa 5.5. Jiménez *et al.* (2001) reportaron un rendimiento de extracción de aceite de la pulpa de aguacate Hass de 87.5 %, donde utilizaron pulpa deshidratada en microondas y la extracción fue llevada a cabo con hexano en un extractor Soxhlet. Moreno *et al.* (2003) obtuvieron un rendimiento del 65.2 % mediante la extracción con microondas y prensado de la pulpa, con un tiempo de exposición de 11 minutos en microondas.

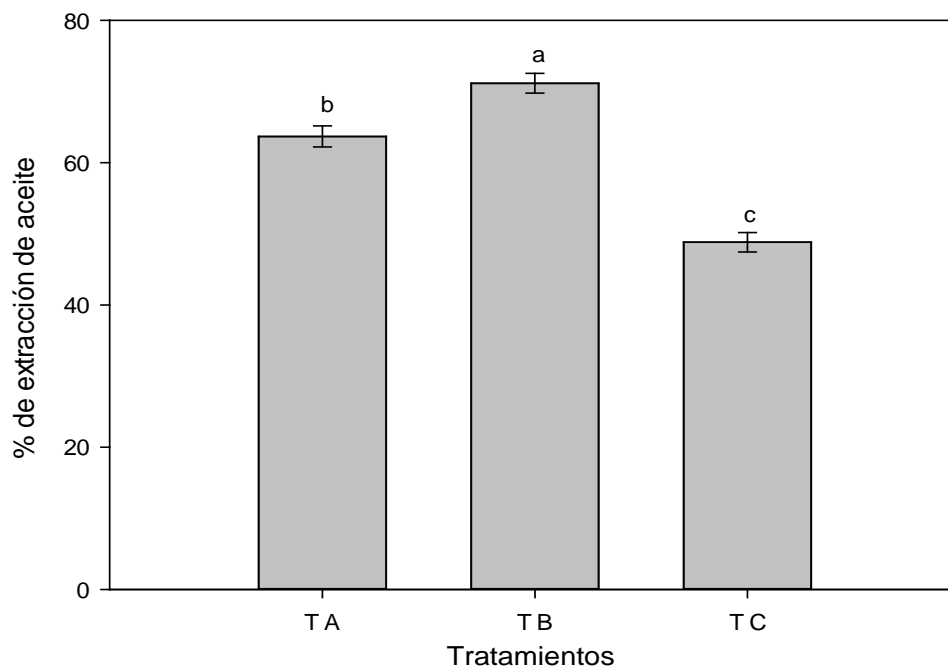


Figura 4. Porcentaje de extracción de aceite de la pulpa de chinene mediante centrifugado.

T A: 30 min. de centrifugado a 3913 g, T B: microondas 2 min., 30 min. de centrifugado a 3913 g y T C: microondas 2 min., prensado mecánico, 5 min. de centrifugado a 3913 g. Letras iguales indican diferencia estadística no significativa (Tukey, 0.05).

El tratamiento T A (63.69 %) concuerda al obtenido por Bizimana *et al.* (1993) donde la eficiencia fue de 61.5 % utilizando condiciones similares de extracción. La extracción asistida con microondas y centrifugado T B permitió obtener la mayor cantidad de aceite de la pulpa de chinene, Uquiche *et al.* (2008) mencionan que con el pretratamiento con microondas se afecta la pared celular y membrana celular, y con esto es posible obtener una mayor cantidad de aceite. Asimismo otros métodos de extracción han sido investigados, los tratamientos T A y T B fueron mayores a los descritos por dos Santos *et al.* (2014) quienes obtuvieron porcentajes de extracción de aceite desde 25 a 30 % y de 45 a 57 % mediante la extracción de prensado en frío y Soxhlet, respectivamente, utilizando pulpa liofilizada o secada mediante circulación de aire caliente en aguacate variedad Fortuna.

#### **4.3.2 Perfil de ácidos grasos de aceite de chinene obtenido mediante diferentes tipos de extracción**

El perfil de ácidos grasos (AG) de las muestras de chinene tuvo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) Cuadro 18a y 18b. La muestra Huatusco 2 tuvo la mayor cantidad de AG saturados palmítico y esteárico, 20.11 y 2.24 % respectivamente. Durazno 2 se caracterizó por ser la de mayor porcentaje de ácido oleico, 71.2 %, mientras que Huatusco 1 tuvo mayor porcentaje de ácido palmítico y linoleico, 3.95 y 4.52 % respectivamente. El contenido de ácido linolénico osciló de 0.43 a 0.47% en las muestras colectadas. En el aguacate se ha reportado que el contenido y la composición de ácidos grasos del aceite cambia de manera distinta entre variedades, tiempo de cosecha y periodo de maduración postcosecha (Ozdemir y Topuz, 2004).

El método de extracción generó cambios en el perfil de ácidos grasos del aceite de chinene Cuadro 18a y 18b ( $p \leq 0.05$ ) para cada una de las muestras de aceite de chinene, el tratamiento mediante Soxhlet produjo la mayor cantidad de ácidos grasos, oleico, linoleico en las muestras Huatusco 1 y Huatusco 2, mientras que en los tratamientos mediante centrifugado el T A redujo en mayor medida el ácido oleico en las tres muestras (H 1, H2, D2), los tratamientos mediante centrifugado donde se utilizó microondas (T B y T C) produjeron cambios menores con relación al T A. Los resultados del tratamiento Soxhlet y T C produjeron cambios similares a lo encontrado por Moreno *et al.* (2003), donde estudiaron el efecto de la extracción combinada microondas-hexano, hexano, y microondas con prensado mecánico, la extracción asistida con microondas redujo la cantidad de ácidos grasos oleico, linoleico y linolénico.

Cuadro 18a. Perfil de ácidos grasos de aceite de chinene obtenido con diferentes métodos de extracción.

Método de extracción	Ácido palmítico (C 16:0)			Ácido palmitoleico (C 16:1)			Ácido esteárico (C 18:0)			Ácido oleico (C 18:1)		
	H 1	H 2	D 2	H 1	H 2	D 2	H 1	H 2	D 2	H 1	H 2	D 2
T A	20.14 b	20.83 b	16.62 a	4.30 a	3.97 a	3.24 b	1.63 c	2.11 c	2.07 c	66.22 d	61.71 d	70.90 c
T B	18.63 c	20.98 a	15.93 d	4.08 b	3.27 d	3.11 d	1.68 b	2.58 b	2.19 a	68.03 b	64.77 c	71.60 a
T C	20.26 a	20.65 c	16.40 b	3.40 d	3.40 c	3.32 a	2.50 a	2.60 a	2.04 d	67.43 c	66.73 b	70.90 c
Soxhlet	17.95 d	18.00 d	16.26 c	4.00 c	3.95 b	3.14 c	1.63 c	1.68 d	2.12 b	68.13 a	68.09 a	71.41 b

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



Cuadro 18b. Perfil de ácidos grasos de aceite de chinene obtenido con diferentes métodos de extracción (continuación).

Método de extracción	Ácido linoleico (C 18:2)			Ácido linolénico (C 18:3)			Ácido araquídico (C 20)		
	H 1	H 2	D 2	H 1	H 2	D 2	H 1	H 2	D 2
T A	4.66 c	3.74 b	4.10 d	0.46 c	0.46 b	0.44 d	ND	ND	0.17
T B	4.73 b	3.45 d	4.14 b	0.51 a	0.36 d	0.50 a	ND	0.22	0.19
T C	3.80 d	3.68 c	4.22 a	0.43 d	0.40 c	0.48 b	0.22	0.21	0.17
Soxhlet	4.88 a	4.87 a	4.12 c	0.50 b	0.50 a	0.45 c	ND	0.15	ND

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales con base en la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

ND= No detectado.

De acuerdo con Marjolaine *et al.* (2008) el hexano es un disolvente menos selectivo y permea de manera adecuada el material vegetal, a su vez el tiempo de extracción es mayor (18 horas). El tratamiento T B fue el que proporcionó una mayor cantidad de ácidos palmitoleico, linoleico y linolénico para la muestra Huatusco 1, y en la muestra D 2 la mayor cantidad de ácido oleico y linoleico, en cambio el tratamiento T C redujo el ácido palmitoleico, linoleico y linolénico de la muestra Huatusco 1. Para los ácidos palmítico y linoleico los tratamientos de extracción mediante centrifugado, produjeron cantidades distintas para cada una de las muestras sin observarse un patrón determinado.

#### **4.3.3 Conclusiones**

En este estudio el efecto de distintos métodos de extracción fueron investigados, el mayor porcentaje de extracción de aceite fue contenido cuando la pulpa fue pretratada con microondas y diluida en agua (3:1, p/p), aplicando centrifugado a 3913 g durante 30 minutos. El ácido oleico fue el de mayor cantidad en las muestras estudiadas. Los tratamientos de extracción mediante centrifugado y microondas produjeron cambios menores en cuanto al ácido oleico con relación al tratamiento de centrifugado sin el uso de microondas. Los procesos de extracción produjeron cambios en el perfil de ácidos grasos de las colectas estudiadas, las cantidades fueron distintas para cada ácido graso identificado mediante cromatografía de gases. Cada una de las colectas presentó perfiles de ácidos grasos distintos con respecto al tratamiento de extracción.

## **V CONCLUSIONES GENERALES**

Los frutos de chinene presentaron variaciones en cuanto a morfología y pesos en las variables evaluadas. El contenido de aceites totales en las colectas estudiadas representa un factor de importancia para su utilización, debido a la corta vida postcosecha del fruto. Los índices químicos del aceite se ubicaron en los límites permitidos, a excepción del índice de acidez el cual se vio mayormente afectado por los tratamientos utilizando microondas y centrifugado. La extracción de aceite utilizando pulpa pretratada en microondas y centrifugado a 3913 g permitió obtener el mayor porcentaje de recuperación de aceite.

## VII. LITERATURA CITADA

- Adama, K. K., & Edoga, M. O. (2011). Comparative Study of Production Oil from Avocado Apple (*Persea Americana*) Using Steam Distillation. *Archives of Applied Science Research*, 3(4), 411-423.
- Alam, M. N., Bristi, N. J., & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21(2), 143-152. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsps.2012.05.002>
- Albi, T., Lanzón, A., Guinda, A., Pérez-Camino, M. C., & León, M. (1997). Microwave and Conventional Heating Effects on Some Physical and Chemical Parameters of Edible Fats. *J Agric Food Chem*, 45(8), 3000-3003. doi: 10.1021/jf970168c
- Ali, M., & Watson, I. A. (2014). Comparison of oil extraction methods, energy analysis and biodiesel production from flax seeds. *International Journal of Energy Research*, 38(5), 614-625. doi: 10.1002/er.3066
- Alvarado, J. d. D. (1995). Propiedades mecánicas de aceites y grasas vegetales. *Grasas y Aceites*, 46(4-5), 264-269.
- Ana Cristina Agulheiro, S., & Cristina, R. (2012). Rheological Properties of Foods *Physical Properties of Foods* (pp. 23-52): CRC Press.
- Anlauf, H. (2007). Recent developments in centrifuge technology. *Separation and Purification Technology*, 58(2), 242-246. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2007.05.012>
- Anjum, Fozia., Anwar, Farooq.,Jamil, Amer.,Iqbal, M. (2006). Microwave roasting effects on the physico-chemical composition and oxidative stability of sunflower seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83 (9), 777-784.
- Ariza-Ortega, J. A., Delgado-Macuil, R. J., Robles-de-la-Torre, R. R., López-Valdés, F., Coyotl-Huerta, J., Ramos-Cassellis, M. E., & Soriano-Morales, A. (2011). Efecto del campo eléctrico sobre el aceite de aguacate almacenado a varios tiempos. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 3(2), 67-73. doi: doi: 10.5154/r.inagbi.2011.11.005
- Ashton, O. B. O., Wong, M., McGhie, T. K., Vather, R., Wang, Y., Requejo-Jackman, C., ... Woolf, A. B. (2006). Pigments in Avocado Tissue and Oil. *J Agric Food Chem*, 54(26), 10151-10158. doi: 10.1021/jf061809j

- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A., & Fayaz, H. (2013). Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18(0), 211-245. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.013>
- AvoPure. (2013). Pure Avocado Powder. Retrieved 27-10-2014, 2014
- Azadmard-Damirchi, S., Habibi-Nodeh, F., Hesari, J., Nemati, M., & Achachlouei, B. F. (2010). Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed. *Food Chemistry*, 121(4), 1211-1215. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.006>
- Azizi, S. N., & Najafzadeh, S. (2008). Fatty acids and volatile compounds in avocado cultivated in North of Iran. *World Applied Sciences Journal*, 5(1), 1-4.
- Berk, Z. (2009). Chapter 9 - Centrifugation. In Z. Berk (Ed.), *Food Process Engineering and Technology* (pp. 217-232). San Diego: Academic Press.
- Birkbeck, J. (2013). Health Benefits of Avocado Oil. *Scientific Studies Related to Avocado Oil* Retrieved 27-10-2014, 2014, from <http://www.olivado.com/studies3.htm>
- Bizimana, V., Breene, W. M., & Csallany, A. S. (1993). Avocado oil extraction with appropriate technology for developing countries. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 70(8), 821-822. doi: 10.1007/BF02542610
- Blasa, M., Genari, L., Angelino, D., & Ninfali, P. (2010). Fruit and Vegetable Antioxidants in Health *Bioactive Foods in Promoting Health: Fruits and Vegetables*. U. K: Elsevier Inc.
- Bora, P. S., Narain, N., Rocha, R. V. M., & Paulo, M. Q. (2001). Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits. *Grasas y Aceites*, 52(3-4), 171-174.
- Bost, J. (2013). Persea schiedeana: A High Oil "Cinderella Species" Fruit with Potential for Tropical Agroforestry Systems. *Sustainability*, 6(1), 99-111.
- Bost, J. B. S., N. J. H.; Crane, J.H. (2013). History, Distribution and Uses. In B. Schaffer, Wolstenholme, B. N., and Whiley, A. W. (Ed.), *The Avocado: Botany, Production and Uses* (2nd Edition ed.). Boston, USA: CAB International.
- Buenrostro, M., & López-Munguía, A. C. (1986). Enzymatic extraction of avocado oil. *Biotechnology Letters*, 8(7), 505-506. doi: 10.1007/BF01025210
- Campos-Hernández, N., Cruz-Castillo, J. G., Hernández-Montes, A., & Rubio-Hernández, D. (2011). Aceite de frutos de Persea schiedeana en sobremaduración y cosechados de árboles en estado silvestre. *Universidad y Ciencia*, 27, 179-189.
- Canapi, E. C., Agustin, Y. T. V., Moro, E. A., Pedrosa, E., & Bendaño, M. L. J. (2005). *Coconut Oil Bailey's Industrial Oil and Fat Products*: John Wiley & Sons, Inc.
- Castañeda-Vildózola, A., Del Ángel-Coronel, O. A., Cruz-Castillo, J. G., & Váldez-Carrasco, J. (2009). Persea schiedeana (Lauraceae), nuevo hospedero de Heilipus lauri Boheman (Coleoptera: Curculionidae) en Veracruz, México. *Neotropical Entomology*, 38, 871-872.

- Ceriani, R., Paiva, F. R., Gonçalves, C. B., Batista, E. A. C., & Meirelles, A. J. A. (2008). Densities and Viscosities of Vegetable Oils of Nutritional Value. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 53(8), 1846-1853. doi: 10.1021/jc800177e
- Cibaria. (2013). Avocado oil. Refined. Retrieved 17-10-2014, 2014, from <http://www.cibaria-intl.com/shop/index.php/cibaria-oils-and-organic-oils>
- Coe, S. D. (1994). *America's First Cuisines*. Texas, USA.: University of Texas Press.
- Corral-Aguayo, R. D., Yahia, E. M., Carrillo-Lopez, A., & González-Aguilar, G. (2008). Correlation between Some Nutritional Components and the Total Antioxidant Capacity Measured with Six Different Assays in Eight Horticultural Crops. *J Agric Food Chem*, 56(22), 10498-10504. doi: 10.1021/jf801983r
- Cruz-Castillo, J. G., Ángel-Coronel, O. A., Cruz-Medina, J., & Joaquín-Martínez, M. C. (2007). Características Morfológicas y Bioquímicas de Frutos de Chinene. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 13(2), 141-147.
- Chanderbali, A. S. S., D.E. Soltis P.S. and B.N. Wolstenholme. (2013). Taxonomy and botany. In B. Schaffer, Wolstenholme, B. N., Whiley, A. W. (Ed.), *The avocado: production, botany and uses*. (2nd ed., pp. 540). USA: CAB International 2013.
- Cheng, Z., Moore, J., & Yu, L. (2006). High-Throughput Relative DPPH Radical Scavenging Capacity Assay. *J Agric Food Chem*, 54(20), 7429-7436. doi: 10.1021/jf0611668
- Daiuto, É. R., Tremocoldi, M. A., Alencar, S. M. d., Vieites, R. L., & Minarelli, P. H. (2014). Composição química e atividade antioxidante da polpa e resíduos de abacate 'Hass'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 417-424.
- Davis, J. P., Dean, L. O., Faircloth, W. H., & Sanders, T. H. (2008). Physical and Chemical Characterizations of Normal and High-Oleic Oils from Nine Commercial Cultivars of Peanut. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(3), 235-243. doi: 10.1007/s11746-007-1190-x
- Dean, L. L., Davis, J. P., & Sanders, T. H. (2011). Groundnut (Peanut) Oil *Vegetable Oils in Food Technology* (pp. 225-242): Wiley-Blackwell.
- Del Ángel-Coronel, O. A., Cruz-Castillo, J. G., De La Cruz-Medina, J., & Famiani, F. (2010). Ripening and Physiological Changes in the Fruit of *Persea schiedeana* Nees during the Postharvest Period. *HortScience*, 45(1), 172-175.
- Di Giovacchino, L. (2000). Technological Aspects. In J. Harwood & R. Aparicio (Eds.), *Handbook of Olive Oil* (pp. 17-59): Springer US.
- Dijkstra, A. (2013). Production of Vegetable Oils from Fruits and Germs *Edible Oil Processing from a Patent Perspective* (pp. 59-78): Springer US.
- Ding, H., Chin, Y.-W., Kinghorn, A. D., & D' Ambrosio, S. M. (2007). Chemopreventive characteristics of avocado fruit. *Seminars in Cancer Biology*, 17(5), 386-394. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.semcancer.2007.04.003>
- Dodds, E., McCoy, M., Rea, L., & Kennish, J. (2005). Gas chromatographic quantification of fatty acid methyl esters: Flame ionization detection vs. Electron impact mass spectrometry. *Lipids*, 40(4), 419-428. doi: 10.1007/s11745-006-1399-8

- dos Santos, M. Z., Alicieo, T. R., Pereira, C. P., Ramis-Ramos, G., & Mendonça, C. B. (2014). Profile of Bioactive Compounds in Avocado Pulp Oil: Influence of the Drying Processes and Extraction Methods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *91*(1), 19-27. doi: 10.1007/s11746-013-2289-x
- Duque, A. M., Londoño-Londoño, J., Álvarez, D., Paz, Y., & Salazar, B. L. (2012). Comparación del aceite de aguacate variedad Hass cultivado en Colombia, obtenido por fluidos supercríticos y métodos convencionales: una perspectiva de calidad. *Revista Lasallista de Investigación*, *9*(2), 151-161.
- Eromosele, C. O., & Paschal, N. H. (2003). Characterization and viscosity parameters of seed oils from wild plants. *Bioresource Technology*, *86*(2), 203-205. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00147-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00147-5)
- Espín, J. C., Soler-Rivas, C., & Wichers, H. J. (2000). Characterization of the Total Free Radical Scavenger Capacity of Vegetable Oils and Oil Fractions Using 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl Radical. *J Agric Food Chem*, *48*(3), 648-656. doi: 10.1021/jf9908188
- Esteban, B., Riba, J.-R., Baquero, G., Rius, A., & Puig, R. (2012). Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. *Biomass and Bioenergy*, *42*(0), 164-171. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.03.007>
- Eyres, L., Sherpa, N., Hendriks, G. (2009). Avocado Oil: A New Edible Oil from Australasia. Retrieved 2014, 2014, from <http://www.olivado.com/studies4.htm>
- Fasina, O. O., & Colley, Z. (2008). Viscosity and Specific Heat of Vegetable Oils as a Function of Temperature: 35°C to 180°C. *International Journal of Food Properties*, *11*(4), 738-746. doi: 10.1080/10942910701586273
- Feral, T., Marleny, D. A. S., Paul, H. L. M., & Mei, S. (2007). Supercritical Fluid Extraction of Specialty Oils *Supercritical Fluid Extraction of Nutraceuticals and Bioactive Compounds* (pp. 51-101): CRC Press.
- Franco, Z., & Nguyen, Q. D. (2011). Flow properties of vegetable oil–diesel fuel blends. *Fuel*, *90*(2), 838-843. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2010.09.044>
- Fu, L., Xu, B.-T., Xu, X.-R., Gan, R.-Y., Zhang, Y., Xia, E.-Q., & Li, H.-B. (2011). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry*, *129*(2), 345-350. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.079>
- Galindo-Tovar, M. E., Arzate-Fernández, A. M., Ogata-Aguilar, N., & Landero-Torres, I. (2007). The Avocado (*Persea Americana*, Lauraceae) Crop in Mesoamerica: 10,000 Years of History. *Harvard Papers in Botany*, *12*(2), 325-334. doi: 10.3100/1043-4534(2007)12[325:TAPALC]2.0.CO;2
- García-González, D. L., Infante-Domínguez, C., & Aparicio, R. (2013). Tables of Olive Oil Chemical Data. In R. Aparicio & J. Harwood (Eds.), *Handbook of Olive Oil* (pp. 739-768): Springer US.
- García-Zapateiro, L. A., Franco, J. M., Valencia, C., Delgado, M. A., Gallegos, C., & Ruiz-Méndez, M. V. (2013). Chemical, thermal and viscous characterization of

- high-oleic sunflower and olive pomace acid oils and derived estolides. *JF - Grasas y Aceites*; Vol 64, No 5 (2013).
- Gerhard, K. (2010). Viscosity of Biodiesel *The Biodiesel Handbook*: AOCS Publishing.
- Gerhard, K., & Robert, O. D. (2005). Biodiesel *Industrial Uses of Vegetable Oil*: AOCS Publishing.
- Golukcu, M., & Ozdemir, F. (2010). Changes in phenolic composition of avocado cultivars during harvesting time. *Chemistry of Natural Compounds*, 46(1), 112-115. doi: 10.1007/s10600-010-9541-5
- Gómez-López, V. M. (2002). Fruit characterization of high oil content avocado varieties. *Scientia Agricola*, 59, 403-406.
- Gómez-López, V. M. (2002). Fruit characterization of high oil content avocado varieties. *Scientia Agrícola (Brazil)*, 59(52):403-406.
- Gómez López, V. M. (1998). Characterization of Avocado (*Persea americana* Mill.) Varieties of Very Low Oil Content. *J Agric Food Chem*, 46(9), 3643-3647. doi: 10.1021/jf9706890
- Ham, B., Shelton, R., Butler, B., & Thionville, P. (1998). Calculating the iodine value for marine oils from fatty acid profiles. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(10), 1445-1446. doi: 10.1007/s11746-998-0197-2
- Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V., & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits – an overview. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(10), 2023-2044. doi: 10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x
- Haminiuk, C. W. I., Plata-Oviedo, M. S. V., Guedes, A. R., Stafussa, A. P., Bona, E., & Carpes, S. T. (2011). Chemical, antioxidant and antibacterial study of Brazilian fruits. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(7), 1529-1537. doi: 10.1111/j.1365-2621.2011.02653.x
- Hamzah, B. (2013). The Effect of Homogenization Pressures on Extraction of Avocado Oil by Wet Method. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(12), 1666-1668.
- Harwood, J. L., & Scrimgeour, C. M. (2007). Fatty Acid and Lipid Structure *The Lipid Handbook with CD-ROM, Third Edition* (pp. 1-36): CRC Press.
- Hassanein, M. M., El-Shami, S. M., & El-Mallah, M. H. (2003). *Changes occurring in vegetable oils composition due to microwave heating. 2003*.
- Herald, T. J., Gadgil, P., & Tilley, M. (2012). High-throughput micro plate assays for screening flavonoid content and DPPH-scavenging activity in sorghum bran and flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(11), 2326-2331. doi: 10.1002/jsfa.5633
- Honary, L. (2010). Industrial oil types and uses. In B. P. Singh (Ed.), *Industrial Crops and Uses* (pp. 522). Oxfordshire, UK: CAB International.
- Human, T. P. (1987). *Oil as a byproduct of the avocado*. Paper presented at the Proceedings of the First World Avocado Congress.



- IPGRI. (1995). *Descriptors for avocado (Persea spp.)*. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute.
- Jiménez, M. E., Aguilar, M. d. R., Zambrano, M. d. I. L., & Kolar, E. (2001). Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 45(2), 89-92.
- Joaquín-Martínez, M. C., Cruz-Castillo, J. G., De la Cruz-Medina, J., & Del Ángel-Coronel, O. A. (2007). Distribución ecogeográfica y características del fruto de *Persea schiedeana* Nees en los Tuxtlas, Veracruz, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(4), 403-410.
- Kameni, A., & Tchamo, P. (2003). Water extraction of avocado oil in the high lands of Cameroon. *Tropical Science*, 43(1), 10-12. doi: 10.1002/ts.81
- Kelly, L., & Ching Kuang, C. (2007). Fatty Acid Classification and Nomenclature *Fatty Acids in Foods and their Health Implications, Third Edition* (pp. 1-15): CRC Press.
- Kevin, S., & David, S. N. (2003). The Nomenclature, Structure, and Properties of Food Lipids *Chemical and Functional Properties of Food Lipids*: CRC Press.
- Knothe, G. (2010). Fuel Properties *The Biodiesel Handbook*: AOCS Publishing.
- Knothe, G. (2013). Avocado and olive oil methyl esters. *Biomass and Bioenergy*, 58(0), 143-148. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.09.003>
- Knothe, G., Gerpen, J. V., & Krahl, J. (2010). Technical Tables *The Biodiesel Handbook*: AOCS Publishing.
- Kopp, L. E. (1966). *A taxonomic revision of the genus Persea in the western hemisphere (Persea-Lauraceae)*. (Doctor of Philosophy), Columbia University, New York. (v. 14, no. 1)
- Kosińska, A., Karamać, 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. *J Agric Food Chem*, 60(18), 4613-4619. doi: 10.1021/jf300090p
- Lahav, E., & Lavi, U. (2013). Genetics and breeding. In B. Schaffer, Wolstenholme, B. N., Whiley, A. W. (Ed.), *The avocado: botany, production and uses* (2nd Edition ed., pp. 605). Oxfordshire, UK.: CAB International 2013.
- Laincer, F., Laribi, R., Tamendjari, A., Arrar, L., Rovellini, P., & Venturini, S. (2014). *Olive oils from Algeria: Phenolic compounds, antioxidant and antibacterial activities* 2014.
- Landucci, G., Pannocchia, G., Pelagagge, L., & Nicoletta, C. (2013). Analysis and simulation of an industrial vegetable oil refining process. *Journal of Food Engineering*, 116(4), 840-851. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.034>
- Lavelli, V. (2002). Comparison of the Antioxidant Activities of Extra Virgin Olive Oils. *J Agric Food Chem*, 50(26), 7704-7708. doi: 10.1021/jf020749o
- Levine, F., Kaye III, R., Wexler, R., Sadvary, D. J., Melick, C., & La Scala, J. (2014). Heats of Combustion of Fatty Acids and Fatty Acid Esters. *Journal of the*

*American Oil Chemists' Society*, 91(2), 235-249. doi: 10.1007/s11746-013-2367-0

- Logaraj, T. V., Bhattacharya, S., Udaya Sankar, K., & Venkateswaran, G. (2008). Rheological behaviour of emulsions of avocado and watermelon oils during storage. *Food Chemistry*, 106(3), 937-943. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.004>
- Lu, Q.-Y., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, D., Lee, R.-p., Gao, K., . . . Heber, D. (2009). California Hass Avocado: Profiling of Carotenoids, Tocopherol, Fatty Acid, and Fat Content during Maturation and from Different Growing Areas. *J Agric Food Chem*, 57(21), 10408-10413. doi: 10.1021/jf901839h
- Lucie, P., & Pokorny, J. (2002). Plant Lipids and Oils *Chemical and Functional Properties of Food Lipids*: CRC Press.
- Lukešová, D., Dostálová, J., Abd El-Moneim Mahmoud, E., & Svárovská, M. (2009). Oxidation Changes of Vegetable Oils during Microwave Heating. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(3), 178-181.
- Luque de Castro, M. D., Ruiz Jiménez, J., & García Ayuso, L. E. (2013). Environmental Applications | Soxhlet Extraction *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*: Elsevier.
- Marroquín-Andrade, L., Cuevas-Sánchez, J. A., Guerra-Ramírez, D., Reyes, L., Reyes-Chumacero, A., & Reyes-Trejo, B. (2011). Proximate composition, mineral nutrient and fatty acids of the seed of ilama, *Annona diversifolia* Saff. *Scientific Research and Essays*, 6(14), 3089-3093. doi: ISSN 1992-2248
- Matsusaka, Y., & Kawabata, J. (2010). Evaluation of Antioxidant Capacity of Non-Edible Parts of Some Selected Tropical Fruits. *Food Science and Technology Research*, 16(5), 467-472. doi: 10.3136/fstr.16.467
- Meireles, M. A. A., Beatriz, D. a.-R., Louw, J. F., Motonobu, G., Andrews, M., Masaaki, T., Juan Carlos, P. (2008). Supercritical and Pressurized Fluid Extraction Applied to the Food Industry *Extracting Bioactive Compounds for Food Products* (pp. 269-401): CRC Press.
- Meyer, M. D., Landahl, S., Donetti, M., & Terry, L. (2011). Avocado. In L. A. Terry (Ed.), *Health-promoting properties of fruit and vegetables*. Oxfordshire, UK: CAB International.
- Meyer, M. D., & Terry, L. A. (2008). Development of a Rapid Method for the Sequential Extraction and Subsequent Quantification of Fatty Acids and Sugars from Avocado Mesocarp Tissue. *J Agric Food Chem*, 56(16), 7439-7445. doi: 10.1021/jf8011322
- Mizrach, A. (2000). Determination of avocado and mango fruit properties by ultrasonic technique. *Ultrasonics*, 38(1-8), 717-722. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0041-624X\(99\)00154-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0041-624X(99)00154-7)
- Moreno, A., Dorantes, L., Galindez, J., & Guzman, R. I. (2003). Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical

- properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil. *J Agric Food Chem*, 51(8), 2216-2221. doi: 10.1021/jf0207934
- Moreno, A. O. D., L. Galindez, J. Guzman, R. I. (2003). Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil. *J Agric Food Chem*, 51(8), 2216-2221. doi: 10.1021/jf0207934
- Mostert, M. E., Botha, B. M., Plessis, L. M. D., & Duodu, K. G. (2007). Effect of fruit ripeness and method of fruit drying on the extractability of avocado oil with hexane and supercritical carbon dioxide. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(15), 2880-2885. doi: 10.1002/jsfa.3051
- Munsell, H. E., Williams, L. O., Guild, L. P., Troesch, C. B., Nightingale, G., & Harris, R. S. (1950). Composition of Food Plants of Central America. Iii. Guatemala. *Journal of Food Science*, 15(1), 34-52. doi: 10.1111/j.1365-2621.1950.tb16448.x
- Nielsen, S. (2010). *Food Analysis* (Fourth Edition ed.). New York, USA.: Springer Science+Business Media.
- NMX-F-052-SCFI. (2008). Aceites y grasas. Aceite de aguacate. Especificaciones (pp. 10). México: Diario Oficial de la Federación.
- NMX-F-109-SCFI. (2006). Alimentos. Aceite de oliva. México: Diario Oficial de la Federación.
- O'Brien, R. (2004). *Fats and oils : formulating and processing for applications* (Vol. 1). Florida, United States of America: CRC Press LLC.
- O'Brien, R. D., Jones, L. A., King, C. C., Wakelyn, P. J., & Wan, P. J. (2005). Cottonseed Oil *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*: John Wiley & Sons, Inc.
- O'Keefe, S., & Pike, O. (2010). Fat Characterization. In S. S. Nielsen (Ed.), *Food Analysis* (pp. 239-260): Springer US.
- Obenland, D., Collin, S., Sievert, J., Negm, F., & Arpaia, M. L. (2012). Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in 'Hass' avocado. *Postharvest Biology and Technology*, 71(0), 41-50. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.03.006>
- Oke, M., Jacob, J. K., & Paliyath, G. (2012). Biochemistry of Fruit Processing *Food Biochemistry and Food Processing* (pp. 554-568): Wiley-Blackwell.
- Olaeta, J. A. (2003). *Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras*. Paper presented at the V World Avocado Congress España.
- Ortiz, M. A., Dorantes, A. L., Galindez, M. J., & Cardenas, S. E. (2004). Effect of a novel oil extraction method on avocado (*Persea americana* Mill) pulp microstructure. *Plant Foods Hum Nutr*, 59(1), 11-14.
- Özdemir, A. E., Çandır, E. E., Toplu, C., Kaplankıran, M., Demirkeser, T. H., & Yidiz, E. (2009). The effects of physical and chemical changes on the optimum harvest maturity in some avocado cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 8(9), 1878-1886.

- 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. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.012>
- Paliyath, G., Tiwari, K., Sitbon, C., & Whitaker, B. D. (2012). Biochemistry of Fruits *Food Biochemistry and Food Processing* (pp. 531-553): Wiley-Blackwell.
- Paull, R. E., & Duarte, O. (2011). Avocado *Crop Production and Science in Horticulture* (pp. 153-184). Wallingford: CABI.
- Poovarodom, S., Haruenkit, R., Vearasilp, S., Namiesnik, J., Cvikrová, M., Martincová, O., . . . Gorinstein, S. (2010). Comparative characterisation of durian, mango and avocado. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(5), 921-929. doi: 10.1111/j.1365-2621.2010.02227.x
- Prescha, A., Grajzer, M., Dedyk, M., & Grajeta, H. (2014). The Antioxidant Activity and Oxidative Stability of Cold-Pressed Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(8), 1291-1301. doi: 10.1007/s11746-014-2479-1
- Przybylski, R., Mag, T., Eskin, N. A. M., & McDonald, B. E. (2005). Canola Oil *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*: John Wiley & Sons, Inc.
- Quiñones-Islas, N., Meza-Márquez, O. G., Osorio-Revilla, G., & Gallardo-Velazquez, T. (2013). Detection of adulterants in avocado oil by Mid-FTIR spectroscopy and multivariate analysis. *Food Research International*, 51(1), 148-154. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.037>
- Rajasekharan, R., & Nachiappan, V. (2010). Fatty Acid Biosynthesis and Regulation in Plants. In E. C. Pua & M. R. Davey (Eds.), *Plant Developmental Biology - Biotechnological Perspectives* (pp. 105-115): Springer Berlin Heidelberg.
- Ramadhass, A. S., Jayaraj, S., & Muraleedharan, C. (2005). Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel*, 84(4), 335-340. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2004.09.016>
- Ratnayake, W., & Zehaluk, C. (2005). Trans Fatty Acids in Foods and Their Labeling Regulations. In C. C. Akoh & O. M. Lai (Eds.), *Healthful Lipids*. Illinois, USA.: AOCS Press.
- Reddy, M., Moodley, R., & Jonnalagadda, S. B. (2012a). Fatty acid profile and elemental content of avocado ( *Persea americana* Mill. ) oil –effect of extraction methods. *Journal of Environmental Science & Health, Part B -- Pesticides, Food Contaminants, & Agricultural Wastes*, 47(6), 529-537. doi: 10.1080/03601234.2012.665669
- Reddy, M., Moodley, R., & Jonnalagadda, S. B. (2012b). Fatty acid profile and elemental content of avocado (*Persea americana* Mill.) oil –effect of extraction methods. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 47(6), 529-537. doi: 10.1080/03601234.2012.665669

- Rendón-Cantillano, J. L. (2003). *Caracterización física y química del fruto y del aceite de sucte (Persea schiedeana)*. (Ingeniero en Agroindustria), Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.
- Reyes-Alemán, J. C., Espíndola-Barquera, M. C., Barrientos-Priego, A., Aguilar-Melchor, J. J., & Bernal-Valenzo, B. (2011). *Ex Situ Conservation of Individuals of the Persea Genus for 12 Species and 4 Related Genotypes*. Paper presented at the VII World Avocado Congress, Cairns, Australia.
- Reyes-Trejo, B., Guerra-Ramírez, D., Zuleta-Prada, H., Cuevas-Sánchez, J. A., Reyes, L., Reyes-Chumacero, A., & Rodríguez-Salazar, J. A. (2014). Annona diversifolia seed oil as a promising non-edible feedstock for biodiesel production. *Industrial Crops and Products*, 52(0), 400-404. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.005>
- Richard, D., Kefi, K., Barbe, U., Bausero, P., & Visioli, F. (2008). Polyunsaturated fatty acids as antioxidants. *Pharmacological Research*, 57(6), 451-455. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.phrs.2008.05.002>
- Rodenbush, C. M., Hsieh, F. H., & Viswanath, D. S. (1999). Density and viscosity of vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76(12), 1415-1419. doi: 10.1007/s11746-999-0177-1
- Rodrigo, M.-J., Alquézar, B., Alférez, F., & Zacarías, L. (2012). Biochemistry of Fruits and Fruit Products *Handbook of Fruits and Fruit Processing* (pp. 13-34): Wiley-Blackwell.
- Rodrigues, J. d. A. J., Cardoso, F. d. P., Lachter, E. R., Estevão, L. R. M., Lima, E., & Nascimento, R. S. V. (2006). Correlating chemical structure and physical properties of vegetable oil esters. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(4), 353-357. doi: 10.1007/s11746-006-1212-0
- Rossi, M., Alamprese, C., & Ratti, S. (2007). Tocopherols and tocotrienols as free radical-scavengers in refined vegetable oils and their stability during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 102(3), 812-817. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.016>
- Rostagno, M. A., D'Arrigo, M., Martínez, J. A., & Martínez, J. A. (2010). Combinatory and hyphenated sample preparation for the determination of bioactive compounds in foods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 29(6), 553-561. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2010.02.015>
- Sabikhi, L., & Sathish Kumar, M. H. (2012). Chapter Four - Fatty Acid Profile of Unconventional Oilseeds. In H. Jeyakumar (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. Volume 67, pp. 141-184): Academic Press.
- Sadat, A., & Khan, I. A. (2007). A novel technique for the measurement of liquid viscosity. *Journal of Food Engineering*, 80(4), 1194-1198. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.09.009>

- Sadrameli, S. M., Seames, W., & Mann, M. (2008). Prediction of higher heating values for saturated fatty acids from their physical properties. *Fuel*, 87(10–11), 1776–1780. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2007.10.020>
- Salgado, J. M., Danieli, F., Regitano-D'arce, M. A. B., Frias, A., & Mansi, D. N. (2008). O óleo de abacate (*Persea americana* Mill) como matéria-prima para a indústria alimentícia. *Food Science and Technology (Campinas)*, 28, 20-26.
- Samman, S., Chow, J. W. Y., Foster, M. J., Ahmad, Z. I., Phuyal, J. L., & Petocz, P. (2008). Fatty acid composition of edible oils derived from certified organic and conventional agricultural methods. *Food Chemistry*, 109(3), 670-674. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.067>
- Seppänen-Laakso, T., Laakso, I., & Hiltunen, R. (2002). Analysis of fatty acids by gas chromatography, and its relevance to research on health and nutrition. *Analytica Chimica Acta*, 465(1–2), 39-62. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670\(02\)00397-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(02)00397-5)
- Seymour, G. B., & Tucker, G. A. (1993). Avocado. In G. Seymour, J. Taylor & G. Tucker (Eds.), *Biochemistry of Fruit Ripening* (pp. 53-81): Springer Netherlands.
- Shahidi, F. (2005). Quality Assurance of Fats and Oils *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*: John Wiley & Sons, Inc.
- Shofian, N. M., Hamid, A. A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Pak Dek, M. S., & Hairuddin, M. R. (2011). Effect of Freeze-Drying on the Antioxidant Compounds and Antioxidant Activity of Selected Tropical Fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(7), 4678-4692.
- Silva, L., Pinto, J., Carrola, J., & Paiva-Martins, F. (2010). Oxidative stability of olive oil after food processing and comparison with other vegetable oils. *Food Chemistry*, 121(4), 1177-1187. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.001>
- Smith, C. E. (1966). Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany*, 20(2), 169-175. doi: 10.1007/BF02904012
- Smith, N. J. H., Williams, J.T., Plucknett, D.L. and Talbot, J.P. (1992). *Tropical Forests and Their Crops*. Ithaca, New York: Cornell University Press.
- Soong, Y.-Y., & Barlow, P. J. (2004). Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chemistry*, 88(3), 411-417. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.003>
- Standley, P. C., & Steyermark, J. A. (1946). *Flora of Guatemala* (Vol. 24, Part IV). USA: Chicago Natural History Museum.
- Szydłowska-Czerniak, A., Trokowski, K., Karlovits, G., & Szłyk, E. (2011). Effect of refining processes on antioxidant capacity, total contents of phenolics and carotenoids in palm oils. *Food Chemistry*, 129(3), 1187-1192. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.101>
- Takenaga, F., Matsuyama, K., Abe, S., Torii, Y., & Itoh, S. (2008). Lipid and Fatty Acid Composition of Mesocarp and Seed of Avocado Fruits Harvested at Northern Range in Japan. *Journal of Oleo Science*, 57(11), 591-597. doi: 10.5650/jos.57.591

- Terigar, B. G., Balasubramanian, S., Sabliov, C. M., Lima, M., & Boldor, D. (2011). Soybean and rice bran oil extraction in a continuous microwave system: From laboratory- to pilot-scale. *Journal of Food Engineering*, 104(2), 208-217. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.012>
- Therios, I. (2008). *Olives Olives*. Oxfordshire, UK: Cabi International.
- Toscano, G., Riva, G., Foppa Pedretti, E., & Duca, D. (2012). Vegetable oil and fat viscosity forecast models based on iodine number and saponification number. *Biomass and Bioenergy*, 46(0), 511-516. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.07.009>
- Uquiche, E., Jeréz, M., & Ortíz, J. (2008). Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (*Gevuina avellana* Mol). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4), 495-500. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2008.05.004>
- Vargas-Martínez, V. I., Cruz-Castillo, J. G., Sumano-Gil, M., Torres-Lima, A., & Del Ángel-Coronel, O. A. (2012). Suelo y Clima donde crece *Persea schiedeana* Nees en Oaxaca, Puebla, Veracruz y Tabasco, México y Jacaltengo Guatemala. Huatusco.
- Vieira, T. M. F. S., & Regitano-d'Arce, M. A. B. (2001). Canola Oil Thermal Oxidation During Oven Test and Microwave Heating. *LWT - Food Science and Technology*, 34(4), 215-221. doi: <http://dx.doi.org/10.1006/fstl.2000.0735>
- Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., & González-Aguilar, G. A. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International*, 44(5), 1231-1237. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.012>
- Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300-312. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004>
- Wang, M., Zheng, Y., Khuong, T., & Lovatt, C. J. (2012). Effect of harvest date on the nutritional quality and antioxidant capacity in 'Hass' avocado during storage. *Food Chemistry*, 135(2), 694-698. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.022>
- Wang, W., Bostic, T. R., & Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*, 122(4), 1193-1198. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.114>
- Werff, H. v. d. (2002). A Synopsis of *Persea* (Lauraceae) in Central America. *Novon*, 12(4), 575-586. doi: 10.2307/3393142
- Werman, M. J., & Neeman, I. (1987). Avocado oil production and chemical characteristics. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 64(2), 229-232. doi: 10.1007/BF02542007

- Wong, M., Ashton, O., Requejo-Jackman, C., McGhie, T., White, A., Eyres, L., . . . Woolf, A. (2008). Avocado Oil: The Color of Quality *Color Quality of Fresh and Processed Foods* (Vol. 983, pp. 328-349): American Chemical Society.
- Wong, M., Ashton, O. O., McGhie, T., Requejo-Jackman, C., Wang, Y., & Woolf, A. (2011). Influence of Proportion of Skin Present During Malaxing on Pigment Composition of Cold Pressed Avocado Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(9), 1373-1378. doi: 10.1007/s11746-011-1790-3
- Wong, M., Requejo-Jackman, C., & Woolf, A. (2010). What is unrefined, extra virgin cold-pressed avocado oil? Retrieved 11-10, 2014, from <http://www.aocs.org/Membership/FreeCover.cfm?ItemNumber=1099>
- Yada, R. Y., Bryksa, B., & Nip, W.-K. (2012). An Introduction to Food Biochemistry *Food Biochemistry and Food Processing* (pp. 1-25): Wiley-Blackwell.
- Yanty, N. A. M., Marikkar, J. M. N., & Long, K. (2011). Effect of Varietal Differences on Composition and Thermal Characteristics of Avocado Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(12), 1997-2003. doi: 10.1007/s11746-011-1877-x
- Yasir, M., Das, S., & Kharya, M. D. (2010). The phytochemical and pharmacological profile of *Persea americana* Mill. *Pharmacognosy Reviews*, 4(7), 77-84. doi: DOI: 10.4103/0973-7847.65332
- Zhang, H.-F., Yang, X.-H., & Wang, Y. (2011). Microwave assisted extraction of secondary metabolites from plants: Current status and future directions. *Trends in Food Science & Technology*, 22(12), 672-688. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2011.07.003>
- Zhang, J., & Jiang, L. (2008). Acid-catalyzed esterification of *Zanthoxylum bungeanum* seed oil with high free fatty acids for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 99(18), 8995-8998. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.004>



## VII. ANEXO A

Ácidos grasos		%	
		Colecta A	Colecta B
Palmitico	C16:0	15.30	15.60
Palmitoleico	C16:1	0.81	0.68
Esteárico	C18:0	1.60	0.90
Oleico	C18:1 $\omega$ 9	77.50	77.10
Linoleico	C18:2 $\omega$ 6	3.80	4.20
Linolénico	C18:3 $\omega$ 3	0.70	0.80
AGI		82.81	82.78
AGS		16.90	16.50

Anexo 1. Perfil de ácidos grasos del aceite de dos colectas de *Persea schiedeana* Nees procedentes del municipio de Huatusco, Veracruz.

AGI: Ácidos grasos insaturados, AGS: ácidos grasos saturados.