



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

EXTRACCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE DE CHINENE (*Persea schiedeana*) Nees.

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

PRESENTA

NAYELLI CAMPOS HERNÁNDEZ



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

AGOSTO DE 2008

Chapingo, Estado de México.



**EXTRACCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE DE
CHINENE (*Persea schiedeana*) Nees.**

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

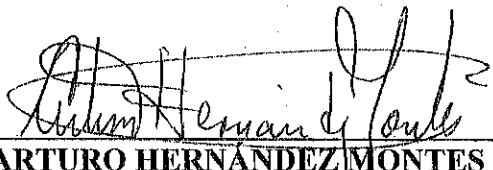
**MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

DIRECTOR:



DR. JUAN GUILLERMO CRUZ CASTILLO

ASESOR:



DR. ARTURO HERNÁNDEZ MONTES

ASESOR:



M.C. DAVID RUBIO HERNÁNDEZ

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, por haberme concedido este *favor*: “Porque tú, oh Jehová, bendecirás al Justo; como con un escudo lo rodearas de tu favor” (Salmo 5:12).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT, por el financiamiento para realizar mis estudios de Posgrado.

Al SNICS-SINAREFI, subproyecto Chinene dentro de la Red Aguacate, por el financiamiento de este trabajo de investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo, ha sido un privilegio pertenecer dos años más a esta institución, ...*ser de Chapingo, es un Honor!* Al Departamento de Ingeniería Agroindustrial y al Programa de Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria, por el apoyo administrativo.

A mi director de tesis Dr. Juan Guillermo Cruz Castillo, por su valiosísimo apoyo, comprensión y paciencia.

A mis asesores Dr. Aturo Hernández Montes y M.C David Rubio Hernández, gracias por su colaboración y por la esmerada revisión de este documento.

De manera especial al Dr. Víctor Robles Olvera, M.C. Javier de la Cruz Hernández y a la Ing. Estela, por las facilidades brindadas en la Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos UNIDA, del Instituto Tecnológico de Veracruz.

Al Dr. Janitzio Bautista y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuya contribución fue determinante para poder concluir eficientemente esta investigación.

Así mismo, a la Dra. Yolanda Salinas Moreno, por su acertada asesoría, y las facilidades brindadas en el Laboratorio de Mafz del INIFAP.

A Eli López, Eli Roldán, Mary, Gaby, Bárbara, Yesi, Alberto y Yali, miembros del panel sensorial, por su disposición hasta el final.

A la colaboración del Dr. Salvador Valle Guadarrama, y a la muy apreciada asesoría de mis compañeras Leticia Quintero Salazar y Teresa Monroy Gutiérrez. Gracias también a la Sra. Carmina y Sra. Virginia, por su atenta ayuda en los procesos administrativos y de laboratorio, respectivamente.

DEDICATORIA

A Dios, quien me ha sostenido hasta este día, pues la inteligencia y el conocimiento vienen de Él, todo por el ha sido creado:

...que en el tiempo antiguo fueron hechos por la palabra de Dios los cielos, y también la tierra, que proviene del agua y por el agua subsisten. (2 Pedro 3:5)

No hay contradicción con la ciencia ...sólo confirmación.

De manera especial dedicó este trabajo a mi esposo Efraín y a mi hija Tsasnai, les agradezco mucho su paciencia, su tiempo, su amor y sus muestras de aliento.

A mis padres, Bernardino y Mariflor, su motivación y ayuda fue siempre precisa, ustedes lo saben.

Rubí y Zaylani, de verdad valoro su tiempo y paciencia como tías.

Gracias por su compañía y amistad a todos los miembros de la Quinta Generación de la MCTA.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nació en México, D.F. el 2 de noviembre de 1982. Cursó la educación básica en los municipios de Tepehuacán de Guerrero, Molango y Pachuca, en el Estado de Hidalgo. En el año 2000, culmina sus estudios de nivel medio superior en el Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Hidalgo (CECyTEH 06) como Técnico en Desarrollo Forestal. Ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo en el año 2000, al grado propedéutico y posteriormente a la carrera de Ingeniería Agroindustrial, de la cual egresa en 2005. Durante su estancia en esta universidad realiza el Servicio Social en capacitación y elaboración de productos lácteos. Desarrolla experiencia profesional en formulación y evaluación de proyectos productivos; y en metodología sensorial, asistiendo en dos ocasiones al curso de actualización impartido por el Ph. D. Michel O'Mahony de la Universidad de Davis, California.

EXTRACCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE DE CHINENE
(*Persea schiedeana*) Nees.

EXTRACTION AND EVALUATION OF THE QUALITY OF CHINENE OIL (*Persea schiedeana*) Nees.

Campos-Hernández, N.; J. G. Cruz-Castillo; A. Hernández-Montes y D. Rubio-Hernández.

RESUMEN

Se estudiaron las características químicas y sensoriales del aceite de pulpa de chinene (*Persea schiedeana* Nees), un fruto nativo de las regiones tropicales y subtropicales de México y Centroamérica. Los frutos fueron cosechados de árboles silvestres en la región de Huatusco, Veracruz. La extracción de aceite con isopropanol y hexano tuvo un rendimiento de 12 % aceite/pulpa (v/p). El aceite de chinene fue comparado con aceites comerciales extra virgen de oliva y aguacate. El aceite de chinene posee menor número de insaturaciones y más ácidos grasos de cadena larga que los aceites de oliva y de aguacate, determinados por el índice de yodo y de saponificación. Los índices de acidez y de peróxidos indican que no presenta rancidez hidrolítica, y la ligera oxidación del aceite está en el nivel permitido. Se determinó el contenido de tocoferoles usando HPLC con fase reversa. El aceite de chinene tiene menor cantidad de α -tocoferol, pero se encontró una concentración similar de γ y δ tocoferol a la de los aceites de oliva y aguacate. Sin embargo, el aceite de chinene presentó la menor actividad antioxidante total, empleando una prueba con DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), que determina la capacidad total de los aceites de atrapar radicales libres. Un panel descriptivo de 8 personas generó 8 atributos para describir los aceites con la técnica de Análisis Descriptivo Cuantitativo, el aceite de chinene fue descrito con aroma a aguacate, herbal, limón, olor a alcohol y pegamento, este aceite presentó menor sensación de aceite residual que el aceite de oliva y aguacate.

Palabras clave: Aceites vegetales, Análisis Descriptivo Cuantitativo, DPPH, HPLC, Tocoferoles.

ABSTRACT

The chemical and sensory characteristics of chinene (*Persea schiedeana* Nees.) oil were studied. The chinene is a fruit native to the tropical and subtropical regions of Mexico and Central America. The fruits were harvested from wild trees in Huatusco, Veracruz. The fruit oil extraction with isopropanol and hexane had a yield of 12 % oil/pulp (v/w). Extra virgin olive and avocado oils were compared with chinene oil. The chinene oil had lower double bonds and more long chain fatty acids than olive and avocado oils, determined by iodine and saponification values. The acidity and peroxide values did not show hydrolytic rancidity, and the slight oil oxidation was within the allowed level. A reversed-phase high-performance liquid chromatography (HPLC) method for determination of tocopherols was developed. The chinene oil had a lower concentration of α -tocopherol, but γ and δ tocopherols concentrations were similar to olive and avocado oils. However, the chinene oil showed the lowest total antioxidant capacity, analyzed with DPPH's test (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), which determined the total free radical scavenging capacity of the oils. Eight descriptors were generated by an eight-member descriptive panel using Quantitative Descriptive Analysis. Avocado aroma, cut grass aroma, lemon aroma, alcohol and adhesive odors were described for the chinene oil; it had a lower oily residual sensation than olive and avocado oils.

Key words: Vegetable oils, Quantitative Descriptive Analysis, DPPH, HPLC, Tocopherols.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
DATOS BIOGRÁFICOS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE CUADROS	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEORICO.....	4
2.1 Generalidades de Persea.....	4
2.1.1 Características botánicas	4
2.2.2 Distribución geográfica.....	6
2.1.3 Importancia económica	7
2.2 Aprovechamiento agroindustrial.....	10
2.2.1 Industrialización del aguacate	10
2.2.2 Industrialización del chinene	15
2.3 Los aceites vegetales	16
2.3.1 Clasificación de los lípidos	16
2.3.2 Composición y uso del aceite de aguacate.....	18
2.3.2 Composición y uso de otros aceites vegetales no tradicionales	20
2.4 Métodos de Extracción.....	23
2.4.1 Tratamientos preeliminares.....	23

	Página
2.4.2 Prensado	24
2.4.3 Uso de solventes.....	25
2.4.4 Uso de CO ₂ supercrítico.....	25
2.4.5 Refinación	26
2.5 Calidad de los aceites	27
2.5.1 Índices químicos	27
2.5.2 Vitamina E y compuestos antioxidantes	30
2.5.3 Análisis sensorial descriptivo de aceites	34
3. BIBLIOGRAFIA	38

EXTRACCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE DE CHINENE (Persea schiedeana) Nees

RESUMEN.....	48
ABSTRACT.....	48
1. INTRODUCCIÓN	49
2. MATERIALES Y MÉTODOS	51
2.1 Extracción	51
2.2 Índices químicos.....	51
2.3 Vitamina E	52
2.4 Capacidad antioxidante	54
2.5 Análisis sensorial descriptivo.....	55
2.6 Análisis estadístico.....	56
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
3.1 Extracción	57

	Página
3.2 Análisis químico.....	58
3.2.1 Índice de acidez.....	58
3.2.2 Índice de peróxidos	60
3.2.3 Índice de saponificación.....	60
3.2.4 Índice de yodo	61
3.2.5 Vitamina E	63
3.2.6 Capacidad antioxidante	66
3.3 Análisis sensorial descriptivo.....	68
4. CONCLUSIONES	74
5. BIBLIOGRAFIA	75

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

	Página
Cuadro 1. Países productores de aceite de aguacate y porcentaje de participación.....	14
Cuadro 2. Composición química del aguacate en 100 gramos de porción comestible....	19
Cuadro 3. Índices químicos de aceite de aguacate reportados por diferentes autores.	29
Cuadro 4. Valores de los índices químicos determinados en aceite de chinene, de oliva y aguacate.....	58
Cuadro 5. Contenido de tocoferoles y actividad antioxidante de aceite de oliva, aguacate y chinene.	64
Cuadro 6. Descriptores sensoriales, definiciones y referencias para la evaluación de aceites de oliva, aguacate y chinene.....	69
Cuadro 7. Cargas de correlación de los primeros dos componentes principales del Análisis de Componentes Principales de los atributos sensoriales de los aceites de oliva, aguacate y chinene.	70
Cuadro 8. Calificaciones de los primeros dos componentes principales del Análisis de Componentes Principales de los aceites de oliva, aguacate y chinene.	70
Cuadro 9. Valores de la intensidad de los atributos sensoriales en aceite de oliva, aguacate y chinene.	72
Figura 1. Mapa descriptivo de los aceites de oliva, aguacate y chinene.....	71
Figura 2. Atributos sensoriales usados por el panel para describir aceite de oliva, aceite de aguacate y aceite de chinene.	73

1. INTRODUCCIÓN

Casi todas las áreas rurales poseen recursos inexplorados o subexplotados; algunos son únicos o al menos muy específicos de la localidad, muchos de ellos son altamente apreciados por los mercados locales y conocidos por poseer propiedades que benefician en forma especial a la salud. Por ello existen muchos casos exitosos de desarrollo rural que deben su éxito al desarrollo de nuevos usos de los recursos ya existentes. Algunos de estos recursos han sido explotados y transformados en nuevos productos de gran éxito, que han favorecido el desarrollo rural; como ejemplo tenemos las bebidas de semillas de chía o las de sábila; las plantas medicinales con usos farmacéuticos probados; tubérculos y plantas silvestres cuya domesticación promete ser fuente de altos ingresos relativos a nivel microregional.

Uno de estos frutos susceptible de aprovechamiento y al que se le atribuye un gran valor nutricional es el aguacate, perteneciente al género *Persea*; que incluye alrededor de 80 especies, de las cuales la mayoría se distribuyen desde el sur de los Estados Unidos de América hasta Chile. Dentro del género *Persea*, además de tres razas y de selecciones locales agrupadas como híbridos, se tienen otras especies como *Persea steyermarkii*, *Persea schiedeana*, *Persea nubigena*, *Persea lingue*, *Persea indica*, *Persea floccosa*, *Persea cinerascens*, *Persea gigantea* y otras clasificadas como *Persea* spp (Barrientos y Ben Ya'acov, 2001).

En particular el árbol de *P. schiedeana* conocido comúnmente como chinene o paga crece en las selvas y montañas tropicales de México y Centroamérica, su hábitat

silvestre se encuentra en áreas cálidas muy húmedas y altitudes similares a las de la raza del aguacate *Antillano*. La principal diferencia entre los árboles de chinene y de aguacate radica en la pubescencia que presenta el primero en flores y yemas, además, los frutos de chinene tienen generalmente menor cantidad de pulpa.

En la actualidad, se desconoce con precisión cuáles son las áreas geográficas donde prospera naturalmente el chinene, pero se ha encontrado en Veracruz, Tabasco, Chiapas y Oaxaca. Muy a menudo, los ejemplares de chinene se emplean como árboles de sombra en los cafetales, de tal manera que tienen un doble propósito, ya que los productores pueden cosechar el fruto para su consumo y si el volumen de la producción lo permite, también lo comercializan regionalmente. El fruto del chinene como fuente de salud humana es reconocido de manera empírica en la región central de Veracruz por mejorar la digestión; sin embargo, en México y Centroamérica no se ha determinado su contenido nutrimental y las ventajas que posee para la salud humana (Cruz *et al.*, 2004).

Se conocen de manera general los metabolitos presentes en la familia Lauraceae, a la que pertenece el género *Persea*, por lo que deductivamente se puede decir que el chinene podría poseer las mismas cualidades farmacológicas. Se ha descrito que la presencia de moléculas terpénicas, aceites flavonoides, cumarinas, alcaloides isoquinólicos y taninos, en ejemplares de ésta familia, les confieren propiedades como laxativo, desparasitante, antimicrobiano, hipocolesterémico y antidiarreico (Cruz, 2002).

El aguacate, presenta una variada posibilidad de usos como productos industrializados: pulpas como base para productos untables; y mitades, ya sean frescas, refrigeradas o

congeladas. También se procesan deshidratados, productos de IV gama, liofilizados y aceite. El aceite constituye el segundo producto industrializado de aguacate, su consumo varia desde un uso masivo como producto para la industria cosmética a un uso de tipo culinario, ya que por sus cualidades se considera un sustituto del aceite de oliva (Olaeta, 2003).

Por otra parte, la principal forma de consumir chinene es untar la pulpa del fruto en tortillas de maíz. Una de las principales causas por la que no se industrializa, como se hace con el aguacate es que posee menor cantidad de pulpa; además, su calidad en fresco esta limitada por la incipiente producción o recolección, ya que no existe un paquete tecnológico que permita obtener frutos sanos y de características homogéneas.

Por ello, una opción de industrialización para el chinene es la obtención de aceite, si bien, se sabe que su composición grasa es de mejor calidad que la del aguacate, por la proporción de ácido oleico en la pulpa (Cruz.-Castillo *et al.*, 2007), por lo que resulta necesario conocer sus características fisicoquímicas, sensoriales y la conservación de sus propiedades nutricionales una vez extraído el aceite como un nuevo producto agroindustrial con fines alimenticios.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades de *Persea*

2.1.1 Características botánicas

La familia Laurácea comprende aproximadamente 50 géneros y alrededor de 2200 especies como el aguacate, del género *Persea* (Sánchez-Pérez, 1999). Algunos autores dicen que este género comprende alrededor de 80 especies (Storey *et al.*, 1986). El chinene también es miembro de esta antigua y numerosa familia. Su clasificación botánica es la siguiente:

Orden: Ranales

Suborden: Magnoliide

Familia: Lauraceae

Género: *Persea*

Subgénero: *Persea*

Especie: *schiedeana*

Nombre científico: *Persea schiedeana* Ness.

Sinonimias

- México: aguacatea, aguacate de manteca, chinene, chinin, chinini, chinine y pagua.
- Guatemala: coyo, chucté, kiyau, quiyo, coyoy, coyoté, chalté, chaucté.
- Honduras Supté, shupté, chute, guaco y pera silvestre.
- El Salvador: Chute

El chinene posee muchas características del aguacate *Persea americana*, el árbol mide de 15 a 30 metros, pero sus ramas tienden a extenderse horizontalmente del tronco y las ramas más jóvenes son más robustas y rígidas con las hojas muy aglomeradas hacia los extremos, corteza muy fisurada, hojas con pecíolos delgados, redondeados y apiculados o subagudos en el ápice, de color gris y aterciopelados en el haz, sus yemas son escamosas.

Sus flores conforman una panícula y sus racimos son más cortos y gruesos que el aguacate, diferenciándose también por su color amarillento, naranja o rojiza en la base de cada segmento del perianto; toda la inflorescencia esta cubierta con una fuerte pubescencia y florecen entre febrero y abril, de igual forma que el aguacate, pero madurando en menor tiempo (Maldonado *et al.*, 2004).

Existe gran variabilidad en la forma y color de los frutos, Ángel (2006) clasifica tres tipos de frutos encontrados en la región de Huatusco, Veracruz.

- a) Frutos tipo “cuello de botella”, de gran tamaño y cantidad de pulpa, color variable, son los más atractivos para el consumidor.
- b) El grupo de los ovoides y los redondos, con color de cáscara predominantemente verde y que se caracterizan por ser frutos pequeños con poco peso de semilla, cáscara delgada, poca proporción de pulpa y poco atractivos para su consumo.
- c) Frutos de forma del tipo periforme-ovoide, de abundante pulpa y con color de cáscara predominantemente café, potencialmente comercializables.

Joaquín *et al.* (2007) encontraron ejemplares de chinene en la región de Los Tuxtlas, presentándose gran variabilidad entre ellos, en cuanto a su forma describen los de tipo claviforme-curvados y obovado-angosta, el color de la cáscara puede ser rojizo-naranja oscuro y verde-amarillento.

En Veracruz, se conoce que los árboles comienzan a fructificar entre los ocho y diez años de edad y se reporta que los frutos alcanzan su madurez entre julio y septiembre, en un promedio de 91 días después del amarre del fruto (Ángel, 2006).

2.2.2 Distribución geográfica

Los ejemplares de chinene se distribuyen en zonas subtropicales y tropicales hasta los 1600 msnm, el mayor número de ejemplares se han encontrado en Veracruz, Tabasco, Chiapas, Hidalgo y Puebla, entre otros. Como planta originaria de Mesoamérica se le encuentra en huertos familiares y, particularmente, en la región central de Veracruz, el chinene crece junto con otros frutales que aparecen como sombra en cafetales (Cruz *et al.*, 2005).

En los últimos años los genotipos de chinene han desaparecido rápidamente, han sufrido tala indiscriminada para la expansión de zonas rurales y urbanas, pese a que sus frutos y madera son relativamente apreciados en algunas localidades (Herrera *et al.*, 2005).

2.1.3 Importancia económica

Situación mundial

Superficie, producción y rendimientos. La superficie cosechada de aguacate al 2006 en el mundo ascendió a 388 mil hectáreas; destaca por su participación México con el 27.27% (105.8 miles de ha), seguido de Indonesia (10.63 %), EUA (7.05 %) y Chile (6.44 %). En los últimos años países como Chile, Colombia, Perú y República Dominicana principalmente, han incrementado su superficie cosechada, lo cual representan una competencia importante para nuestro país.

La mayor producción de aguacate se concentra en México con 1136.6 miles de toneladas que representa el 34.28 % de la producción mundial, seguido por Estados Unidos, Indonesia, Colombia, Brasil, Chile y República Dominicana. Los rendimientos más altos se presentan en República Dominicana con 92.68 t/ha, Brasil con 14.66 t/ha y Colombia con 10.88 t/ha; México ocupa el quinto lugar en rendimientos (10.74 t/ha). A pesar de que Israel cuenta únicamente con el 1.3% de la superficie, tiene altos rendimientos (15.28 t/ha) y destaca como productor (FAO, 2008).

Importaciones y exportaciones. De acuerdo con la FAO (2008), en el 2006 se importaron 667.74 mil toneladas, los países que absorbieron este volumen fueron EUA, Francia, Países Bajos, Reino Unido y Japón, principalmente, en conjunto adquirieron el 75.18 % del volumen de importaciones. En los últimos 5 años se ha incrementado considerablemente la demanda de Japón, EUA y Países Bajos, en un promedio anual de 23.3, 19.6 y 13.6 %, respectivamente.

Las exportaciones mundiales de aguacate fueron de 665.56 mil toneladas, lo cual representa el 20 % de la producción mundial. Destacan por su volumen colocado México con el 32.82 %, Chile con el 20.35 %, Sudáfrica con el 12.47 %, España con el 6.5 % e Israel con 6.27 %, a pesar de no figurar en superficie sembrada.

Perú, a pesar de poseer sólo una novena parte de la superficie de aguacate que tiene México, ha tenido un crecimiento exorbitante y exporta alrededor del 85 % de su fruta. También es representativo el incremento en la participación de Chile, sin embargo, su crecimiento esta siendo limitado por el acceso a zonas protegidas que tienen potencial para el aguacate.

Situación nacional

Superficie, producción y rendimiento. En el 2005 se cosecharon 89 469 hectáreas de aguacate *Hass*, con una producción de 913 729.35 toneladas, con un rendimiento promedio nacional de 9.8 toneladas por hectárea. La mayor superficie cosechada se localiza en el Estado de Michoacán (85 417.12 ha) representando una de sus actividades económicas más importantes, ya que el valor de la producción en el 2005 fue de más de 5 529 millones de pesos. El principal municipio productor de aguacate es Uruapan, seguido por Tancítaro, Peribán y Tacámbaro. Otros estados que cultivan aguacate *Hass* son Morelos y el Estado de México.

En el resto del país se cultivan o producen aguacates de variedades diversas que en las estadísticas aparecen como *sin clasificar*, estas variedades sólo tienen importancia local

ya que algunas son específicas de la región destacando por su superficie cultivada los estados de Puebla, Nayarit, Oaxaca, Guerrero, Nuevo León, Jalisco, Durango, Yucatán, Hidalgo y Estado de México. Las variedades de aguacate criollo y sin clasificar representan el 7 % de la producción nacional. Algunos de estos aguacates reportan altos rendimientos promedio de hasta 19.45 t/ha como en Yucatán., pero otros también muy bajos de hasta 5.9 y 6.8 t/ha encontrados en Oaxaca y Guerrero, respectivamente (SAGARPA, 2006). Dentro de estas otras variedades se encuentra el chinene, que, como ya se mencionó, es importante en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Hidalgo y Puebla, entre otros.

Importaciones y exportaciones. En el 2005 México comenzó a importar aguacate Hass de California, el aguacate californiano permite a los productores estadounidenses establecer plantas de guacamole en los estados del norte de México, aprovechando la mano de obra más barata y el potencial de mercado al que llegarían. Sin embargo, en el 2005, el monto de las importaciones mexicanas de aguacate de los EUA ha sido muy reducido, y representó un promedio de 82 mil dólares (ADMUNDO, 2006).

Por su parte México, desde el 31 de enero de 2007, puede distribuir el aguacate *Hass* en todo el territorio de EUA, en éste mercado se introduce el 60.44 % del volumen exportado por nuestro país. En los últimos años México ha exportado también a Canadá, Japón, Inglaterra, Suiza, Costa Rica, Salvador, Holanda, Guatemala, España, Suecia, Bélgica, Honduras, Argentina, etc. En Europa se consumieron 13 291 toneladas de aguacate mexicano en el 2004. La mayor parte se vende en Francia, su consumo por habitante pasó de 400 gramos a 1.5 kilos anuales, en los últimos 10 años. Es el segundo

mercado en importancia para México, ahí el aguacate mexicano enfrenta competencia de nuevos productores como Sudáfrica, España (el más fuerte competidor), Israel y en menor medida, Kenia. Sin embargo, se reconoce que el aguacate con mejor sabor es el mexicano. Chile y Perú son dos nuevos competidores; pero tenemos ventaja en el tiempo de transportación, ya que, su producto tarda 28 días en llegar a Francia, mientras que el aguacate mexicano tarda 17 días (CONASIPRO, 2000; citado por APEAMAC, 2006).

2.2 Aprovechamiento agroindustrial

2.2.1 Industrialización del aguacate

Con el aumento en las superficies plantadas con aguacate se ha provocado un incremento progresivo en el volumen de fruta de menor calibre, que normalmente se comercializa en los mercados domésticos a menor precio; por lo que la industrialización se torna como una alternativa cada vez más importante para comercializar estos volúmenes. La industrialización depende de los remanentes que queden de la producción que se destina al mercado en fresco.

A partir de 1989 se empezó a desarrollar en Michoacán la industria de transformación del aguacate. Sus productos más importantes son la pulpa, el guacamole congelado y el aceite que es utilizado para diversos usos.

Pulpas congeladas y refrigeradas

Se elaboran pulpas como base para productos untables, tanto frescas como refrigeradas o congeladas, mitades o cubos congelados. Dentro de las alternativas nombradas, el puré

de aguacate congelado ha sido el que ha tenido un mayor volumen de producción, al ser utilizado como base para el guacamole y las comidas denominadas *Tex-Mex* (Olaeta, 2003).

Los productos congelados pueden ser almacenados por 8-10 meses, sin embargo su calidad decrece después de los 3 meses de almacenaje. Se ha usado freón rociado directamente sobre rebanadas de aguacate, se congelaron entre 3 y 4 minutos, previa inmersión en ácido ascórbico y málico. Con este método se obtuvo un producto comparable con el fruto fresco, pero esto resulta en una tecnología muy cara (Rosales, 2005).

A nivel laboratorio, se estudió el efecto del calentamiento por microondas con adición de zinc y cloruro de cobre en el puré; con estos tratamientos se preservó el color, sobre todo con cloruro de cobre y 30 segundos en microondas, logrando la inhibición del oscurecimiento enzimático, atribuyéndose esto a la formación de complejos clorofílicos con cationes de Zn y Cu (Guzmán *et al.*, 2002).

La liofilización es otra técnica empleada mediante congelación de la pulpa a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y deshidratada posteriormente a $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas; envasado al vacío con nitrógeno y almacenada a $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, el producto conserva características aceptables hasta por 3 semanas (Gómez y Bates, 1970).

En todos estos productos cobra especial importancia el control del pardeamiento enzimático, el uso de aditivos en las pulpas deberá ser paulatinamente reducido, ya que,

una buena pulpa no debe contener menos de un 98 o 99 % de aguacate. Por otra parte, los métodos de conservación basados en el empleo de calor son inadecuados, pues el aguacate experimenta cambios no deseables e irreversibles en sus características sensoriales, por ejemplo el desarrollo de sabores amargos (Crues *et al.*, 1951 citados por Rosales, 2005).

La radiación con Co^{60} se acepta como una medida para reducir las enfermedades transmitidas por alimentos, pero también se han visto los efectos benéficos al aumentar el periodo de vida útil, al modificar los mecanismos de maduración y senescencia. Con radiaciones gamma a la pulpa congelada de Co^{60} , a dosis entre 0.5 y 2.5 Gy se reduce a *Listeria monocytogenes*, y se mantiene la calidad del aceite de la pulpa, con lo que el producto puede tener una vida de anaquel de cerca de 120 semanas (Valdivia *et al.*, 2002).

Olaeta (2003) en un estudio realizado encontró que las variedades Edranol, Hass, y Fuerte mostraron una mejor calidad para la industrialización, mientras que Bacón y Zutano no mostraron una calidad aceptable. Los rendimientos de pulpa dependen de la variedad, reportándose entre 63 y 67 %, siendo la variedad Fuerte la que proporciona mayor rendimiento. También encontró que cuando el contenido de materia seca de los frutos fue de 30%, se obtuvo mejor calidad de pulpas congeladas y productos de IV gama. (Olaeta, 2003).

En la actualidad en México, el volumen de aguacate fresco que se transforma en pulpa es de 45 mil toneladas, que equivalen a 45 millones de libras de guacamole congelado.

El consumo nacional de pulpa y guacamole procesado es mínimo, más de 90 % de este volumen se comercializa en los EUA a través de la industria restaurantera y el mercado de menudeo. El resto de la producción va a Canadá, la Unión Europea y el Lejano Oriente (APEAMAC, 2006).

Impulsada en gran medida por la población latina en EUA, hay una gran demanda de salsas y chiles, donde existen 520 mil marcas de estos productos (ADMUNDO, 2006), y es así como la pulpa de aguacate tiene un gran potencial en el mercado americano.

Aceite

Los aceites son el componente más importante del aguacate, pues constituyen hasta el 15 % del mesocarpio y es responsable del sabor y de la textura gustativa que los consumidores exigen en esta fruta. La extracción del aceite de aguacate se ha realizado desde hace varias décadas; sin embargo, el uso predominante del aceite ha sido cosmético, esto ha sido así principalmente por la alta estabilidad del aceite y su contenido de vitamina E (Requejo *et al.*, 2003).

Países productores

En cuanto a la participación industrial, México es el principal productor de aceite extra virgen, en el Cuadro 1 se ven otros países importantes y su participación. También se menciona que se está produciendo en Nueva Zelanda y Sudáfrica, aunque no se conocen las cifras exactas.

Cuadro 1. Países productores de aceite de aguacate y porcentaje de participación.

País	%	País	%
México	34	República Dominicana	4
Indonesia	8	Chile	4
Estados Unidos	6	España	4
Brasil	5	Perú	3
Colombia	5	Otros	27

Fuente: Corporación Colombiana Internacional, 2002; citado por Perea y Ponce, 2005.

La oferta exportable de México es cercana a 40 millones de toneladas al año, es superior al consumo de Estados Unidos de América que se estima en 25 millones de toneladas; los países que le sigue en importancia en cuanto a exportación son Chile que participa con el 23 %, Sudáfrica 9 %, España 8 %, Israel 5 %, Holanda 5 %, República Dominicana 4 %, Francia 3 % y Perú 3 %. Muchos de ellos no destacan en la producción pero su importancia radica en que el producto que comercializan tiene diversos procesos de refinado o transformación en otros productos y subproductos del aceite (Corporación Colombiana Internacional, 2002; citado por Perea y Ponce, 2005).

Hojas

Se usan para condimentar una gran cantidad de guisos, presentan un sabor similar a la fruta, pero en mayor concentración y también sirven como envoltorio (Rosales, 2005).

2.2.2 Industrialización del chinene

Mientras tanto, *Persea schiedeana* solo es consumido de manera local en forma fresca para acompañar otros alimentos o como guarnición, es apreciado por su consistencia, sabor y valor nutricional. La madera se emplea en construcciones poco importantes y como combustible.

Debido a su baja proporción de pulpa y a la calidad heterogénea de ésta, la elaboración de productos mínimamente procesados, pulpas congeladas o liofilizadas, no se considera viable. Su comercialización en fresco a mercados más distantes se ve limitada por su elevada tasa de respiración y producción de etileno que lo hacen un fruto climatérico altamente perecedero. A temperatura ambiente, al tercer día de cosecha inicia la senescencia, en refrigeración (6 °C) su vida máxima pueden ser de 14 días (Ángel, 2006).

La extracción de aceite puede ser una opción de industrialización del chinene, su pulpa contiene entre 20 y 30 % de aceites totales (Ángel, 2006 y Joaquín *et al.*, 2007), mientras que en aguacate *Hass* la proporción es del 15 % en promedio. Adicionalmente, se podría considerar de mejor calidad que el aceite de aguacate en cuanto a su contenido de ácido oleico, Cruz-Castillo *et al.* (2007) reportan entre 33.5 y 41.7 % de ácido oleico según el tipo de chinene, mientras que en aceite de aguacate *Hass* la proporción de este ácido graso fue sólo del 30 %.

2.3 Los aceites vegetales

Los aceites vegetales son productos líquidos, generalmente solubles en compuestos orgánicos, obtenidos por diferentes técnicas de los frutos de algunas plantas; están constituidos principalmente por triacilglicéridos, también contienen otras sustancias lipofílicas en bajas proporciones, tales como hidrocarburos, ácidos grasos, vitaminas, fitosteroles, etcétera. (Rabasco y González, 2000).

Los lípidos de la dieta juegan un importante papel en la nutrición, suministran calorías y ácidos grasos esenciales, transportan vitaminas y mejoran la sensación bucal de los alimentos (Fennema, 2000). Los aceites no tradicionales han sido parte de una dieta suplementada en algunas partes del mundo, y su consumo ha ido incrementándose aun en los países no productores (Ramadam y Moersel, 2006).

2.3.1 Clasificación de los lípidos

Lípidos simples

Ácidos grasos. Con este término se conoce cualquier ácido monocarboxílico que pueda liberarse por hidrólisis de las grasas naturales (Fennema, 2000). Actualmente se ha encontrado que los ácidos grasos no son solo ácidos monocarboxílicos de cadena alifática que pueden ser saturados e insaturados, sino también con estructuras diferentes como ácidos cíclicos, ramificados, hidroxilados, de manera que se conocen aproximadamente 400 tipos, pero sólo un pequeño número son de importancia por la

proporción en la que se encuentran. Las diferencias entre los aceites se deben básicamente a la presencia y concentración de los ácidos grasos constituyentes, los cuales se encuentran comúnmente esterificados integrando los triacilglicéridos y cuando se llegan a encontrar en estado libre es porque muy probablemente ocurrió una hidrólisis del enlace éster (Badui, 1993).

Acilglicerol. Las grasas neutras son mono, di y triésteres de glicerol y ácidos grasos. Tanto los mono como diglicéridos representan una fracción muy pequeña de los constituyentes de las grasas y los aceites, cuando se encuentran en una proporción mayor que la normal es un indicador de una posible hidrólisis, la acción de las diversas lipasas provoca su síntesis en los alimentos. Los triacilglicéridos son los más abundantes, representan más del 95 % de la composición de las grasas y aceites, las características físicas y químicas de ellos depende del tipo, la concentración y la forma de distribución de sus ácidos grasos en las tres posiciones (Badui, 1993).

Ceras. Son ésteres formados por la combinación de una molécula de un alcohol monohidroxilado de cadena larga y una de ácido graso (Rabasco y González, 2000). Son muy resistentes a la hidrólisis, funcionan como agentes protectores en diferentes órganos.

Lípidos compuestos

Son aquellos que están integrados por una parte lipídica y otra que no lo es, unidas covalentemente; destacan los fosfolípidos y los glucolípidos, pero también se mencionan los esfingolípidos y sulfolípidos (Badui, 1993).

Los fosfolípidos son aquellos que contienen ácido fosfórico en forma de mono o diéster, se denominan lípidos polares; difieren entre sí en el tamaño, forma y polaridad del componente alcohol de su cabeza polar y en la naturaleza de los ácidos grasos sustituyentes (Fennema, 2000).

Derivados de Lípidos

Son todos aquellos que no se ubican en ninguna de las divisiones anteriores, pero que satisfacen la definición de lípidos. Entre ellos se encuentran los esteroides, vitaminas A, D, E y K y las prostaglandinas (Rabasco y González, 2000).

2.3.2 Composición y uso del aceite de aguacate

Este aceite se extrae del fruto de *Persea americana* L., principalmente de la pulpa, cuya composición química se presenta en el Cuadro 2, su contenido de lípidos monoinsaturados, minerales, vitaminas y esteroides le confieren una alta calidad nutricional. Sin embargo, la semilla de aguacate también se ha empleado como materia prima para extraer aceite. Anteriormente el aceite de aguacate era usado solamente en la industria cosmética, pero recientemente se ha empezado a apreciar sus cualidades sensoriales, y su consumo toma importancia. El uso de solventes, prensión mecánica y centrifugación son métodos empleados para la obtención de este aceite.

Cuadro 2. Composición química del aguacate en 100 gramos de porción comestible.

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
Agua	73.23 g	Magnesio	29 mg
Proteína	2 g	Zinc	0.64 mg
Lípidos	14.66 g	Selenio	0.4 µg
Cenizas	1.58 g	Vitamina C	10 mg
Carbohidratos	8.53 g	Vitamina A	146 UI
Fibra	6.7 g	Vitamina E	2.47 mg
Azúcares totales	0.66 g	β-sitosterol	76 mg
Potasio	485 mg	β-caroteno	62 µg
Fósforo	52 mg	Luteína	+
		zeaxantina	271 µg

Fuente: Elaboración propia con datos de USDA-HealtheTeach SR Search, 2008.

El aguacate tiene un promedio de 15 % de aceite en la pulpa, y en la semilla solamente 1 %. El ácido oleico es el ácido graso de mayor importancia, algunos autores reportan un contenido de éste ácido graso del 59 a 74 % (Werman y Neeman, 1987; Werman *et al.*, 1996 y Ozdemir y Topuz, 2003); mientras que Cruz-Castillo *et al.* (2007) reportaron que el ácido oleico representó sólo el 30 % de los triacilglicéridos del aguacate Hass, y los ácidos palmítico y linoleico le siguen en importancia.

La fracción insaponificable es la más atractiva de este aceite, se ha estudiado su composición de tocoferoles y esteroides, principalmente; compuestos que tienen su máxima concentración en frutos inmaduros y va de 102 a 250 mg de tocoferol en 100 g

de aceite y 1.1 a 6.2 % de esteroides (Lozano *et al.*, 1993). Los pigmentos tales como la luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, carotenos y clorofilas tienen también beneficios relacionados con la salud; por ejemplo, la luteína se ha relacionado con disminución del riesgo de deterioro muscular debido a la edad; y de cataratas (Ashton *et al.*, 2006).

En el aceite de semilla de aguacate se han encontrado compuestos insaponificables que estimulan la síntesis de colágeno y proteoglicanos en las células del tejido conectivo. Otras sustancias insaponificables, no determinadas exactamente, se han reportado que tienen efecto inhibitorio en lisiloxidasa, enzima encontrada en enfermedades del tejido conectivo como fibrosis (Rosemblat *et al.*, 1995). Sin embargo, el aceite de semilla de aguacate no se recomienda para consumo, se ha reportado que la ingesta en ratas causa inhibición del crecimiento y anomalías relacionadas con el metabolismo de lípidos (Werman *et al.*, 1996).

2.3.2 Composición y uso de otros aceites vegetales no tradicionales

Aceite de almendra: El aceite de almendras dulces es extraído mecánicamente del fruto maduro de *Prunus dulcis*, es caracterizado como amarillo pálido, tienen olor suave, dulce y olor y sabor a nueces. Muy usado en aromaterapia, en preparaciones cosméticas como humectante para piel seca, quemaduras de sol, y bajo ciertas condiciones como un antioxidante para preservar otros ingredientes. Este aceite es un buen emoliente por su alto contenido de ácidos grasos insaturados, lo que causa cierta inestabilidad en las preparaciones cosméticas (Rabasco y González, 2000).

Aceite de ajonjolí: es el aceite prensado de las semillas de la planta de *Sesamum indicum*. El aceite contiene poderosos antioxidantes como sesamina, sesamol, sesamolina y fitosterol, que le dan una gran estabilidad. Tiene pronunciada acción regenerativa debido a su alto contenido de insaponificables. Se han reportado efectos saludables en enfermedades de la piel como eczema, seborrea, soriasis y quemaduras de sol (Rabasco y González, 2000).

Aceite de café: Es derivado exclusivamente de las semillas de *Coffea arabica*, ha demostrado excelentes propiedades en la piel debidas a su perfil característico de ácidos grasos. Pero más interesante es su habilidad como bloqueador de la radiación de 280 a 320 nm, rango en el cual se causa eritema, pero al mismo tiempo permite el paso de la radiación de 320 a 400 nm, que causa bronceado en la piel, esta función es debida a los materiales insaponificables inherente en el aceite conocidos como kawool y cafestol, y monoésteres de ambos (Rabasco y González, 2000).

Aceite de calabaza: Es extraído de la semilla de *Cucurbita pepo*, es de uso común en ensaladas en Austria, Hungría y Eslovenia. No solo tiene interés por su sabor típico sino también por su potencial para sanar enfermedades de la próstata. Junto con los ácidos grasos como linoleico, los micronutrientes que comprenden vitamina E, fitosterol y lignanos son de especial interés (Murkovic *et al.*, 2004).

Aceite de germen de trigo. Es extraído de las semillas germinadas de *Triticum sativum*, contiene fosfolípidos e insaponificables así como alto contenido de carotenoides y

tocoferoles; es frecuentemente usado como ingrediente nutritivo para el cuidado de la piel sensible y delicada (Rabasco y González, 2000).

Aceite de oliva: Este aceite es extraído de los frutos de *Olea europea*. Los mayores constituyentes son trioleína, tripalmitina, trilinoleína, triestearato, monoestearato, triaraquidina, escualeno, β -sitosterol y tocoferol. El aceite de oliva es usado como un solvente en cosméticos para la piel y el cabello (Rabasco y González, 2000). El aceite de oliva es el más comúnmente usado como aceite de cocina en los países mediterráneos (Gómez-Alonso *et al.*, 2003).

Aceite de semillas de té: El aceite de *Camellia oleifera* Abel. es usado ampliamente en China como aceite de cocina. Fue tradicionalmente usado como medicina en enfermedades estomacales y daño por quemaduras, contiene compuestos activos diferentes a otro tipo de aceites, por ejemplo la saponina ha demostrado la reducción de colesterol en ratas, además contiene varios factores antioxidantes (Lee y Yen, 2006).

Aceite de semillas de algunos “berries”: Se extrae del subproducto de la industria de jugos, de frutas del género *Rubus* y de *Vaccinium corymbosum*, se caracteriza por contener compuestos de gran capacidad antioxidante (Parry *et al.*, 2005).

Aceite de semillas de cilantro (*Coriandrum sativum* L.), comino (*Nigella sativa* L.) y Níger (*Guizotia abyssinica* Cass.): Son aceites no tradicionales que se han caracterizado por ofrecer compuestos antioxidantes, tocoferoles y esteroides benéficos a la salud (Ramadan y Moersel, 2006).

Aceite de semillas de uva: Este aceite es extraído de las semillas de uva (*Vitis viniferae*) como subproducto de la industria vinícola, es usado con fines culinarios y farmacéuticos, en su composición dominan los ácidos grasos poliinsaturados, también contiene elevada concentración de fenoles y alta capacidad antioxidante (Bail *et al.*, 2008).

2.4 Métodos de Extracción

2.4.1 Tratamientos preeliminares

El uso de algunos preparados celulolíticos en el proceso de extracción de aceite ha tenido un efecto positivo sobre el rendimiento de la extracción. Esto se debe a que el principal componente estructural de los vegetales es la celulosa, la cual funciona en la mayoría de la materia prima vegetal como un secuestrador o barrera estructural que limita la liberación de componentes de interés para la industria alimentaria.

Después de someter la pulpa de aguacate a un proceso de extracción acuoso-enzimático con los preparados comerciales Pectinex Ultra-SP-L y Olivex, y comparado con el proceso de extracción térmico tradicional, el rendimiento en la extracción del aceite de aguacate fue hasta un 30 % mayor usando celulasas (Freitas *et al.* 1993 citados por Ovando-Chacón y Waliszewski, 2005).

Una consecuencia importante de la predigestión enzimática de las semillas oleaginosas fue la reducción de la rancidez del aceite, debido a que durante la extracción enzimática

puede liberarse compuestos antioxidantes a través de la membrana semipermeable, los cuales impiden la oxidación del aceite o prolongan su estabilidad; también hay un efecto positivo al facilitar y mejorar la extracción de los compuestos fenólicos los cuales son importantes por sus propiedades nutricionales (Garrido *et al.*, 2001; citados por Ovando-Chacón y Waliszewski, 2005).

También se ha usado la deshidratación previa de la pulpa, a fin de facilitar la extracción; se ha empleado para ello el calentamiento convencional en estufa y el uso de microondas para la extracción de aceite de aguacate. El uso de microondas ha reportado mayor rendimiento, conservando el color característico del aguacate en fresco y sus índices químicos son muy semejantes al aceite comercial y a otros valores reportados (Jiménez *et al.*, 2001)

2.4.2 Prensado

Actualmente se ha generalizado cada vez más el uso del prensado en frío, es el procedimiento más antiguo y utilizado para obtener el aceite, el cual consiste en aplicar presión mecánica para romper las estructuras celulares que contienen el aceite, es así como se obtiene el aceite de oliva extra virgen, el cual no es sometido a procedimientos adicionales.

Este sistema permite obtener aceites excelentes gracias a las bajas temperaturas a lo largo del proceso, el aceite de aguacate extraído por este método presentó una amplia gama de carotenoides, luteína, una buena relación entre ácidos grasos monoinsaturados,

saturados y poliinsaturados, revelando una comparación favorable con el aceite de oliva (Requejo *et al.*, 2003). Sin embargo, los principales inconvenientes para la aplicación práctica de este sistema son los costos de mano de obra, la discontinuidad del proceso y los gastos inherentes al empleo de materiales filtrantes en condiciones óptimas (Espínola, 1996).

2.4.3 Uso de solventes

Es el método más usado en la industria de los aceites, posee altos rendimientos sobre todo cuando la pasta se trata en varios pasos reutilizando el solvente. Se hace pasar hexano a 40-45 °C, ya sea por percolación o inmersión de la pasta molida o prensada. La micela que contiene aceite y solvente se separa por diferencia de puntos de ebullición en un intercambiador de calor (Bernardini, 1981).

Para la extracción de aceite de aguacate se ha usado, además del hexano, éter de petróleo (Werman y Neeman, 1987) y acetona (Curiel, 1985; citado por Moreno *et al.*, 2003). Se ha reportado que con hexano se tiene un rendimiento de 54 %; mientras que cuando la pulpa es tratada previamente con calor éste puede aumentar a más de 80 % (Jiménez *et al.*, 2001; Moreno *et al.*, 2003).

2.4.4 Uso de CO₂ supercrítico

Una sustancia, por encima de la temperatura y presión críticas, se encuentra en la fase llamada supercrítica, que presenta características duales de líquido y de gas, una

densidad muy superior a la de un gas y una difusividad mayor a su fase líquida. Estas propiedades le confieren características especiales como solvente.

El dióxido de carbono supercrítico (SC-CO₂) se puede considerar como el solvente ideal para ser usado en el procesamiento de alimentos debido a que no es tóxico, ni inflamable, ni explosivo; es altamente selectivo para algunos solutos como los lípidos, y fácilmente separable de los extractos solubles (Grompone *et al.*, 2004).

Se ha encontrado que el dióxido de carbono supercrítico fue mejor que el hexano como solvente para la extracción de aceite de aguacate, principalmente porque extrae menor cantidad de clorofila, la cual es fotosensible en el proceso de oxidación y afecta la estabilidad del aceite. Pese a la acidez que podría agregar el dióxido de carbono supercrítico, el índice de acidez no es significativamente diferente al aceite obtenido con hexano. Sin embargo, la concentración de materia insaponificable decrece conforme aumenta el tiempo de exposición al solvente supercrítico y por tanto se esta perdiendo la parte más importante para la industria cosmética y farmacéutica (Botha, 2004).

2.4.5 Refinación

El aceite crudo requiere de procedimientos posteriores que eliminen la acidez producida por los ácidos grasos libres, olores, colores y sabores indeseables, para lo cual la refinación se divide en las siguientes fases: desgomado, neutralización, lavado, blanqueo y deodorización y en algunos casos winterización (Bernardini, 1981).

2.5 Calidad de los aceites

2.5.1 Índices químicos

Existe un gran número de análisis para evaluar las características físicas y químicas de las grasas y aceites, a los que continuamente se añaden nuevos procedimientos, sobre todo instrumentales que son más rápidos y exactos, sin embargo, algunos son tradicionales y ofrecen mucha información sobre la naturaleza, el origen y el posible comportamiento de la grasa en diferentes condiciones de almacenamiento y procesamiento (Badui, 1993).

A continuación se definen los índices químicos determinados en el aceite de chinene, de acuerdo a las Normas Mexicanas específicas.

Índice de acidez: Es la cantidad de miligramos de hidróxido de potasio necesaria para neutralizar los ácidos grasos libres en 1 gramo de aceite o grasa. Puede expresarse en términos del porcentaje del ácido graso principal.

Índice de peróxidos: indica los miliequivalentes de oxígeno en forma de peróxido por kilogramo de grasa o aceite.

Índice de saponificación: es la cantidad de hidróxido de potasio expresado en miligramos, necesario para saponificar un gramo de grasa.

Índice de yodo: es la medida de la insaturación de las grasas y aceites y se expresa en términos del número de centigramos de yodo absorbidos por gramo de muestra (por ciento de yodo absorbible).

En el Cuadro 3 se presentan los valores de estos índices químicos para aceite de aguacate, para obtener el aceite fueron empleados diferentes métodos y se aprecia su efecto en la calidad química final.

Cuadro 3. Índices químicos de aceite de aguacate reportados por diferentes autores.

Aceite	Método de extracción	Acidez Libre ¹	Índice peróxidos ²	Índice de saponificación ₃	Índice de Yodo
Bora <i>et al.</i> , 2001	Hexano	1.23 ±0.02	1.4 ±0.215	178.3 ±1.61	77.6 ±1.54
Human, 1987	No especificado	0.82	3.3	191	79 *
Jiménez <i>et al.</i> , 2001	Horno eléctrico + éter	1.41	32.75	203	84.34
	Microondas + éter	0.57	24.06	262	87.76
	Horno eléctrico + hexano	0.61	22.73	214	92.59
	Microondas + hexano	0.94	26.93	219	87.53
	Aceite comercial	1.5	38.10	217	83.35
Moreno <i>et al.</i> , 2003	Microondas + prensado	0.144 ± 0.027	3.7 ± 0.054	241 ± 0.28	87.6 ± 0.29*
	Microondas + hexano	0.277 ± 0.015	9.55 ± 0.074	235 ± 0.18	84.1 ±0.13*
	Hexano	0.65 ± 0.03	10.68 ± 0.064	273 ± 0.84	82.1 ±0.13*
	Acetona	2.84 ±0.04	12.74 ± 0.30	168 ± 0.48	94.8 ± 0.475*
Codex-Stan 033-1981.	Para aceite de oliva virgen	máximo ≤3.3	≤ 20	184-196	75-94*
Codex-Stan 019-1981.	Aceites vírgenes y grasas y aceites prensados en frío	≤2	≤15		

¹% de ácido oleico ² mEq de peróxido kg⁻¹ ³ mg KOH g⁻¹ * Método de Wijs.

Fuente: Elaboración propia con datos de los autores señalados.

2.5.2 Vitamina E y compuestos antioxidantes

Características de la vitamina E

La principal fuente de vitamina E en la dieta humana son los aceites vegetales, los cuales contienen de 70 a 1900 mg de tocoferol por kilogramo de aceite (Gliszczynska-Swiglo y Sikorska, 2004).

Vitamina E es el término genérico que se aplica a los tocoles y tocotrienoles que exhiben una actividad vitamínica similar a la de α -tocoferol, las formas α , β , γ y δ difieren de acuerdo con el número y la posición de los grupos metilo. Además existen tres carbonos asimétricos (2, 4 y 8) en la molécula del tocoferol cuya configuración estereoquímica influye en la actividad vitamina E, la configuración del α -tocoferol que se da en la naturaleza exhibe la mayor actividad vitamina E y actualmente se designa RRR- α -tocoferol anteriormente d- α -tocoferol.

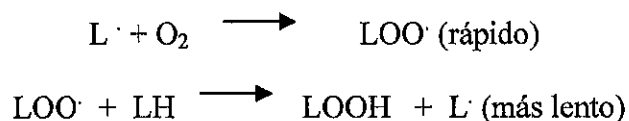
Todos los tocoferoles y tocotrienoles, si no están esterificados, tienen la facultad de actuar como antioxidantes; neutralizan los radicales libres donando el H fenólico y un electrón. Los compuestos con actividad vitamina E pueden también contribuir indirectamente a la estabilidad oxidativa de otras sustancias al secuestrar el oxígeno singulete mientras esta produciéndose la degradación, el orden de reactividad hacia el oxígeno singulete es $\alpha > \beta > \gamma > \delta$ y el potencial oxidativo sigue un curso inverso (Fennema, 2000).

Se sabe que la acción antioxidante de la vitamina E depende de la interrupción de la propagación en cadena de los radicales libres. La autoxidación de los ácidos grasos poliinsaturados comprende una autoxidación, una propagación en cadena y una reacción de terminación, Wolf (2005) la describe de la siguiente manera:

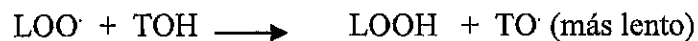
La reacción de iniciación es lenta, es iniciada por calor, luz o trazas de metales:



Donde I es el iniciador, LH es el ácido graso y $L\cdot$ es el radical alquilo formado del ácido graso. La propagación es una reacción en cadena como sigue:



Donde $LOO\cdot$ es el radical libre peroxilo y LOOH es el hidroperóxido estable del ácido graso. El tocoferol, entonces rompe y termina la cadena de la siguiente manera:



Donde TOH es el tocoferol y $TO\cdot$ es el radical tocoferoxilo, éste reacciona con otros radicales peroxilo para formar productos inactivos, incluyendo tocoferil quinona.

Cuando se utiliza la saponificación como ayuda para la separación de los lípidos de la vitamina E, debe tomarse precauciones para prevenir la oxidación durante la extracción, saponificación y otros tratamientos preeliminares (Fennema, 2000).

Su unidad internacional (UI) equivale a 1 mg de acetato de dl- α -tocoferilo, a 0.909 mg de dl- α -tocoferol, 0.735 mg de acetato de d- α -tocoferilo, 1.75 mg de d- β -tocoferol o 7 mg de d- γ -tocoferol (Badui, 1993).

Determinación de vitamina E en aceites por HPLC

Se han descrito varios métodos para determinar homólogos e isómeros de vitamina E. Se ha usado tanto fase normal como fase reversa en cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), y la detección con UV y fluorescencia son las más usadas. Mediante la fase normal se pueden separar los isómeros β y γ tocoferol, mientras que usando fase reversa esto no es posible. Sin embargo, la fase reversa provee mayor estabilidad a la columna, reproducibilidad en los tiempos de retención, rápido equilibrio y más corto tiempo de análisis que con fase normal (Gimeno *et al.* 2000; Gliszczynska-Swiglo y Sokorska, 2004; Tasioula y Okogeri, 2001). En fase reversa los solventes más comunes son metanol, agua, acetonitrilo, mientras que en fase normal el hexano e isopropanol son muy empleados.

La preparación de la muestra ha consistido en saponificación y/o extracción de la fracción de interés con diferentes solventes, centrifugación y evaporación (Cho *et al.*,

2007; López *et al.*, 2006 y Tasioula y Okogeri, 2001), pero otros más han desarrollado métodos donde la dilución en solventes como hexano e isopropanol es suficiente (Gimeno *et al.* 2000; Gliszczynska-Swiglo y Sokorska, 2004 y Seppanen *et al.*, 2003).

Características de los compuestos antioxidantes

En los aceites, además de la vitamina E, están presentes otros compuestos que tienen efecto en la estabilidad oxidativa de los aceites y a su vez también un efecto cuando son suministrado en la dieta humana. Una gran correlación ha sido encontrada entre los fenoles totales y la estabilidad oxidativa, y la actividad antioxidante de estos compuestos se relaciona con el número de hidroxilos en la molécula; mientras que α -tocoferol incrementa o disminuye la estabilidad, dependiendo de la concentración de o-difenoles (Mateos *et al.*, 2003). Un estudio mostró que la contribución de los compuestos fenólicos a la estabilidad medida por el método Rancimat fue de 51 %, de la composición de ácidos grasos fue 24 % y los tocoferoles sólo contribuyeron con el 11 % (Aparicio *et al.*, 1999). Los carotenoides, escualeno y clorofila también tienen propiedades antioxidantes y están presentes en los aceites vegetales (Samaniego *et al.*, 2007).

Determinación de la capacidad antioxidante en aceites

La actividad antioxidante puede ser medida solo indirectamente, con base en sus efectos. Dada la complejidad de los procesos de oxidación, no hay métodos simples

que reflejen la totalidad del perfil antioxidante de una muestra, esto dificulta que los datos de diversas investigaciones sean comparados e interpretados.

Cada componente antioxidante debería ser medido individualmente, pero es difícil determinar el número y concentración de antioxidantes, es por ello que los métodos existentes describen sólo la actividad total de todos los antioxidantes de una muestra. En aceites vegetales se ha probado los siguientes métodos: Capacidad de absorbancia del radical oxígeno (ORAC), prueba de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), prueba de ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbensotiazolin)-6-ácido sulfónico) y el Sistema β -caroteno-linoleato; las pruebas de DPPH y ABTS tuvieron la más alta correlación con el contenido fenólico de los aceites de oliva (Samaniego *et al.*, 2007).

Diferentes autores han empleado el método del DPPH para cuantificar la capacidad de atrapar radicales libres en aceites vegetales (Espín *et al.* 2000; Keceli y Gordon, 2001; Lee *et al.* 2007; Parry *et al.* 2005; Sultana *et al.* 2007 y Ramadan y Moersel, 2006), pero es difícil comparar los resultados reportados ya que éstos se hacen en unidades y metodologías diferentes tales como μmol de aceite/ μmol de DPPH, equivalentes de Trolox o BHT, la desaparición en función del tiempo, o bien usan soluciones de DPPH o de muestra a concentraciones diferentes.

2.5.3 Análisis sensorial descriptivo de aceites

Se ha incrementado el consumo de los aceites vegetales no tradicionales, éstos, al igual que el aceite de oliva, son preferentemente consumidos como aceites no refinados. Por

esta razón es importante el estudio de los compuestos responsables del sabor y aroma de los aceites. Sin embargo, la investigación se concentra en la actualidad sólo en el aceite de oliva, siendo el más consumido, las características sensoriales del los aceites son muy variadas y están en función de la especie, el cultivar, la madurez del fruto, el clima, suelo y el proceso tecnológico del que proceden (Montedoro *et al.*, 1978; citados por Servili *et al.*, 1995).

Las características percibidas en aceites comprenden:

Flavor: una combinación de sensaciones olfatorias, gustativas y táctiles.

Olor: combinación de sensaciones percibidas a través de la nariz cuando se degusta el aceite.

Sabor: sensaciones percibidas cuando el aceite esta en contacto con todas las áreas sensibles de la boca.

Sensación residual: combinación de sensaciones percibidas después de que el estímulo desaparece de la boca (Ranalli *et al.*, 2001).

Ranalli *et al.* (2001) caracterizaron al aceite de oliva con los siguientes atributos: fruto de olivo maduro, olivo verde, manzana, aroma a otros frutos, pungente, amargo, dulce, como atributos deseables o permitidos; y agrio/avinagrado/ácido, áspero, metálico, mohoso/húmedo, turbio y rancio como indeseables. Por su parte, Servili *et al.* (1995) usaron descriptores como frutal, dulce, floral, manzana, herbal, heno y avinagrado como descriptores de aroma, además de sensación residual como aceitoso y ceroso. Debido a que el comercio del aceite de oliva ahora se extiende a muchos países, se ha evaluado el aceite por paneles sensoriales de diferentes orígenes, y se ha encontrado diferencias en

el léxico generado, estos descriptores fueron agrupados por Aparicio y Morales (1995) en color verde, amargor, pungencia, olores indeseables, frutos maduros, frutal, dulce y otros aromas.

También se ha estudiado la relación de la calidad sensorial con la presencia de compuestos volátiles en el espacio de cabeza por cromatografía de gases, determinándose compuestos tales como aldehídos, cetonas, alcoholes, ácidos, hidrocarbonos, furanonas y lactonas (Grosch, 1982; citado por Jelen *et al.*, 2000). Más ampliamente ha sido estudiado el aroma a pasto cortado o herbal, que se ha relacionado con *cis*-3-hexenal-1-ol y al cual se le atribuye un efecto en la percepción de mayor intensidad del sabor amargo y la pungencia (Caporale *et al.*, 2004; Sinesio *et al.*, 2005).

Para evaluar la calidad sensorial del aceite de oliva existen paneles entrenados los cuales son reconocidos por IOOC (Internacional Olive Oil Council), que a través de procedimientos estándares determina una clasificación comercial de los aceites mediante una hoja estándar del perfil del producto donde se especifica: la intensidad de diferentes sabores agradables percibidos por la ruta ortonasal, retronasal y gustativa, así como la sensación desagradable global que tiene el aceite (Rotondi *et al.*, 2004).

Sin embargo, una técnica ampliamente usada es el Análisis Descriptivo Cuantitativo, el cual fue desarrollado en los 70's por *Tragon Corp.* para corregir algunos de los problemas percibidos en el método de Perfil de sabor (Stone, 1992).

En ésta técnica los panelistas generan un grupo de términos que describen diferencias entre los productos. A través de consenso los panelistas desarrollan un vocabulario para describir las diferencias sensoriales entre las muestras. Los panelistas también deciden sobre los estándares de referencias y la definición verbal que debería ser usada para el término descriptivo. Durante el periodo de entrenamiento son los panelistas quienes deciden el orden de evaluación de cada atributo, el entrenamiento consiste en desarrollar una serie de pruebas, esto sirve al líder del panel para evaluar individualmente a cada juez basándose en análisis estadístico de su desempeño relativo dentro del panel. Los resultados pueden ser analizados estadísticamente usando análisis de varianza y técnicas estadísticas multivariadas; por lo que es necesario que los jueces repitan los juicios hasta por seis veces en algunos casos, a fin de mostrar la consistencia de los panelistas de manera individual y como grupo. Lo anterior permite saber si los panelistas pueden discriminar entre productos o necesitan más entrenamiento (Lawlees, 1999).

3. BIBLIOGRAFÍA

1. ADMUNDO (Agencia Digital de Noticias S.A.). Nicho: aguacate de exportación para hacer guacamole. Consultado el 20 de agosto de 2006, disponible en http://www.adnmundo.com/contenidos/comercio/nicho_palta_mexico_ce_180706.html
2. Ángel C. O. A del. 2006. Fisiología del desarrollo, plagas de campo y patología poscosecha de frutos de chinene (*Persea schiedeana* Nees). Tesis de Maestría. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Chapingo, Méx.
3. Aparicio R. y M.T Morales. 1995. Sensory wheels: a statistical technique for comparing QDA panels-application to virgin olive oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67:247-257
4. Aparicio R., L. Roda, M.A. Albi y F. Gutierrez. 1999. Effect of various compounds on virgin olive oil stability measured by Rancimat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47:4150-4155
5. Ashton O.B. O., M. Wong, T. K. McChie, R. Vather, Y. Wang, C. Requejo-Jackman, P. Ramankutty y A. B. Woolf. 2006. Pigments in avocado tissue and oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54:10151-10158
6. APEAMAC (Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Michoacán). 2006. Consultado el 20 de agosto de 2006, disponible en http://www.apeamac.com/apecam_indus.htm
7. Bail S., G. Stuebiger, S. Krist, H. Unterweger y G. Buchbauer. 2008. Characterization of various grape seed oils by volatiles compounds,

triacylglycerol composition, total phenols and antioxidant capacity. Food Chemistry 108 (391122-1132).

8. Barrientos-Priego A. F. y A. D. Ben Ya'acov. 2001. Estudio de los recursos genéticos del aguacate y especies afines en la fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C. CICTAMEX. México. pp 108-201
9. Badui D.S. 1993. Química de los alimentos. Alhambra Mexicana. 3ra. Edición. 648 p
10. Bernardini E.1981.Tecnología de aceites y grasas. Editorial Alhambra. Madrid, España. 499 p
11. Bora P. S., N. Narain, R.V.M. Rocha y M. Q. Paulo. 2001. Characterization of the oils the pulp and seed of avocado (cultivar: Fuerte) fruits. Grasas y Aceites 52 (3-4):171-174
12. Botha B.M. 2004. Supercritical fluid extraction of avocado oil. South African Avocado Grower's Association Yearbook. 27:24-27
13. Caporale G., S. Policastro y E. Monteleone. 2004. Bitterness enhancement induced by cut grass odorant (cis-3-hexen-1ol) in a model olive oil. Food Quality and Preference 15:219-227
14. Cho I. K., J. Rima, C. L. Chang y Q. X. Li. 2007. Spectrofluorometric and high-performance liquid chromatographic determination of all-rac- α -tocopheryl acetate in virgin olive oil. Journal of Food Composition and Analysis 20:57-62
15. Codex-Stan-019-1981. Norma del Codex para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales del Codex Stan.

16. Codex-Stan-033-1981. Norma del Codex para los aceites de oliva vírgenes y refinados y los aceites de orujo de aceituna.
17. Cruz C. J. G. 2002. Frutales para México. Contribuciones del Caribe y Sudamérica. UACH - UAM U. Xochimilco. México D.F. 334 p
18. Cruz C. J. G., M. Sumano, J. de la Cruz, N. Peña, F. Rodríguez, G. Palacios y L. Martínez. 2004. El chinene (*Persea schiedeana* Ness), buscando su valoración en el México contemporáneo. Aquí Centros Regionales. pp. 1, 5-7
19. Cruz C. J.G., J. de la Cruz M., F. Rodríguez B., O.A. del Ángel C., M.C. Joaquín M. 2005. El chinene (*Persea schiedeana* Nees), buscando su valoración frutícola en los trópicos. XVIII Reunión científica, tecnológica, forestal y agropecuaria. Memorias [CD-ROM]. Boca del Río, Veracruz, México.
20. Cruz-Castillo. J. G., O.A. del Ángel-Coronel, J. de la Cruz-Medina, M.C. Joaquín-Martínez. 2007. Características morfológicas y bioquímicas de frutos de chinene (*Persea schiedeana* Nees.) Revista Chapingo Serie Horticultura 13(2):141-147
21. Espín J. C., C. Soler-Rivas y H. J. Wichers. 2000. Characterization of the total free radical scavenger capacity of vegetable oils and oil fractions using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48:648-656
22. Espínola L. F. 1996. Cambios tecnológicos en la extracción del aceite de oliva virgen. Universidad de Jaén. España. Disponible en <http://www.ujaen.es/huesped/aceite/articulos/cambiote.htm>
23. FAO. 2008. FAOSTAT. Consultada en <http://faostat.fao.org/site/>

24. Fennema, O.R. 2000. Química de los alimentos. Acribia. 2da. Edición. Zaragoza, España. 1258p
25. Gliszczynska-Swiglo A. y E. Sikorska. 2004. Simple reversed-phase liquid chromatography method for determination of tocopherols in edible plant oils. *Journal of Chromatography A*. 1048:195-198
26. Gimeno E., A.I. Castellote, R.M. Lamuela-Raventós, M.C. de la Torre y M.C. López-Sabater. 2000. Rapid determination of vitamin E in vegetable oils by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*. 881:251-254
27. Gómez-Alonso S., G. Fregapane, M.D. Salvador y M. H. Gordon. 2003. Changes in phenolic composition and antioxidant activity of virgin olive oil during frying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:667-672
28. Gómez R. y R. Bates. 1970. Storage deterioration of freeze-dried avocado puree and guacamole. *Journal of Food Science* 35:472-475
29. Grompone, M.A., I. Jachmanián, L. Margenat, A.I. Torres. 2004. Extracción de aceites de oleaginosas mediante el uso de CO₂ supercrítico. Consultada en www.multitel.com.uy/congresoselis/suctal/trabajos/94.doc
30. Guzmán G.R., A.L. Dorantes, U.H. Hernández, S.H. Hernández, A. Ortiz, y E.R. Mora. 2002. Effect of zinc and copper chloride on the color of avocado puree heated with microwaves. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 3:47-53
31. Herrera T., A. Montiel F., S.T. López de J. 2005. El chinene, *Persea schiedeana* Nees en la región centro del estado de Veracruz. XVII Reunión científica, tecnológica, forestal y agropecuaria. Memorias [CD-ROM]. Boca del Río, Veracruz, México.

32. Human T.P. 1987. Oil as byproduct of the avocado. South African Avocado Grower's Association Yearbook 10:159-162
33. Jelen H. H., M. Obuchowska, R. Zawirska-Wojtasiak y E. Wasowicz. 2000. Headspace solid-phase microextraction use for the characterization of volatile compounds in vegetable oils of different sensory quality. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48:2360-2367
34. Jiménez M.E., M.R. Aguilar, M.L. Zambrano y E. Kolar. 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
35. Joaquín M. M. C., J. G. Cruz C., J.de la Cruz M. y O. del Ángel C. 2007. Distribución ecogeográfica y características del fruto de *Persea schiedeana* Nees. en los Tuxtlas, Veracruz, México. Revista Fitotecnia Mexicana 30 (4):403-410
36. Keceli T. y M. Gordon. 2001. The antioxidant activity and stability of the phenolic fraction of green olives and extra virgin olive oil. Journal of the Science of Food and Agriculture 81:1391-1396
37. Lawlees, H.T. y H. Heymann. 1999. Sensory evaluation of food. Principles and practices. Aspen Publishers, Inc. Nueva York, EUA. 827 p
38. Lee C. P y G. C Yen. 2006. Antioxidant activity and bioactive compounds of tea seed (*Camelia oleifera* Abel.) oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54:779-784

39. Lee J.M., H. Chung, P.S. Chang y J.H. Lee. 2007. Development of a method predicting the oxidative stability of edible oils using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). *Food Chemistry* 103:662-669
40. López O.C.M., M.S. Prats M. y V. Berenguer N. 2006. A rapid chromatographic method for simultaneous determination of β -sitosterol and tocopherol homologues in vegetable oils. *Journal of Food Composition and Analysis* 19:141-149
41. Lozano F. Y., C. Dhuique Mayer, C. Bannon y E.M. Gaydou. 1993. Unsaponifiable matter, total sterol and tocopherol contents of avocado oil varieties. *Journal American Oil Chemists Society* 70(6):561-565
42. Maldonado M. F., G. Vargas S., R.F. Molina M., A. Sol S. 2004. Frutales tropicales de Tabasco. 3ra. Ed. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. pp 58-59
43. Mateos R., M. M. Domínguez, J. L. Espartero y A. Cert. 2003. Antioxidant effect of phenolic compounds, α -tocopherol, and other minor components in virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:7170-7175
44. Moreno O.A., L. Dorantes, J. Galíndez y R.I. Guzmán. 2003. Effect of different methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill) oil. *Journal of Agricultural and food chemistry* 51(8):2216-2221.
45. Murkovic M., V. Piironen, A.M. Lampi, T. Kraushofer y G. Sontag. 2004. Changes in chemical composition of pumpkin seeds during the roasting process for production of pumpkin seed oil (Part 1: non-volatile compounds) *Food Chemistry* 84 (3): 359-365

46. NMX-F-101-1987. Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de acidez. México.
47. NMX-F-154-1987. Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de peróxidos. México.
48. NMX-F-174-1981. Alimentos para humanos. Determinación del índice de saponificación en aceites y grasas vegetales o animales. México.
49. NMX-F-408-S-1981. Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de yodo por el método de Hanus. México.
50. Olaeta J. A. 2003. Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras. Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate). 749-754
51. Ozdemir F. y A.Topuz. 2003. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. Food Chemistry. Artículo en impresión, disponible en línea www.sciencedirect.com
52. Ovando-Chacón S. L. y K. N. Waliszewski. 2005. Preparativos de celulastas comerciales y aplicaciones en procesos extractivos. Universidad y Ciencia. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 21 (42): 111-120
53. Parry J., L. Su, M. Luther, K. Zhou, M.P. Yurawecz, P. Whittaker y L. Yu. 2005. Fatty acid composition and antioxidant properties of cold-pressed marionberry, boysenberry, red raspberry y blueberry seed oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53:566-573

54. Perea F.B. y L.J. Ponce M. 2005. Producción y exportación de aceite de aguacate en la empresa Avoléo S.A. de C.V. Tesis de Licenciatura. UACH. Chapingo, Méx. 97 p
55. Rabasco A. A.M. y M.L. González R. 2000. Lipids in pharmaceutical and cosmetic preparations. *Grasas y Aceites* 51 (1-2): 74-96
56. Ranalli A., A. Malfatti y P. Cabras. 2001. Composition and quality of pressed virgin olive oils extracted with a new enzyme processing aid. *Journal of Food Science* 66 (2):592-603
57. Ramadam, M.F. y J.T. Moersel. 2006. Screening of the antiradical action of vegetable oils. *Journal of Food Composition and Analysis* 19:838-842
58. Requejo C., C. Lund, A. White, M.Wong, T. McGhie, L. Eyres, L. Boyd y A. Woolf. 2003. Aceite de aguacate por presión en frío-Una novedad saludable. Congreso Mundial del Aguacate V. Resumen A-205. 460-461.
59. Rosales N. F. 2005. Industrialización del aguacate en la actualidad: Revisión Documental. Tesis de Licenciatura. UACH. Chapingo, Méx. 107 p
60. Rosenblat G., H. M. Kagan, M. A. Shah, G. Spiteller y I. Neeman. 1995. Chemical characterization of lysyl oxidase inhibitor from avocado seed oil. *Journal of the American Oil Chemist's Society* 71(2):225-229
61. Rotondi A., A. Bendini, L. Cerretani, M. Mari, G. Lercker y T. G. Toschi. 2004. Effect of olive ripening degree on the oxidative stability and organoleptic properties of cv. Nostrana di Brisighella extra virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:3649-3654

62. SAGARPA. 2006. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Anuario agrícola. Base de datos digital. México.
63. Samaniego S. C., A. M. Troncoso G., M. C. García-Parrilla, J. J. Quesada G., H. López G. de la S. y M. C. López M. 2007. Different radical scavenging test in virgin olive oil and their relation to the total phenol content. *Analytica Chimica Acta* 593:103-107
64. Sánchez-Pérez, J. L. 1999. Recursos genéticos del aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5:7-18
65. Servili M., J. M. Conner, J.R. Piggott, S.J. Withers y A. Paterson. 1995. Sensory characterization of virgin olive oil and relationship with headspace composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67:61-70
66. Seppanen C.M., M. Rahmani y A. Saari Csallany. 2003. Simultaneous determination of chlorophylls, pheophytins, β -carotene, tocopherols, and tocotrienols in olive and soybean oils by high-performance liquid chromatography. *Journal of Food Science* 68:1644-1647
67. Sinesio F., E. Moneta y M. Esti. 2005. The dynamic sensory evaluation of bitterness and pungency in virgin olive oil. *Food Quality and Preference* 16:557-564
68. Stone, H. 1992. *Sensory evaluation practices*. 2da Edición. New York, Academic Press. 338 p
69. Storey, W.B., B.O. Bergh y G.A. Zentmayer. 1986. The origin, indigenous range and dissemination of the avocado. California Avocado Association. Yearbook 70:127-143

70. Sultana B., F. Anwar y R. Przybylski. 2007. Antioxidant potential of corncob extracts for stabilization of corn oil subjected to microwave heating. *Food Chemistry* 104:997-1005
71. Tasioula M. M. y Okogeri, O. 2001. Isolation and characterization of virgin olive oil phenolic compounds by HPLC/UV and GC-MS. *Journal of Food Science* 66:530-534
72. USDA-HealtheTeach SR Search. 2008. Nacional Nutrient Database for Windows. EUA.
73. Valdivia M. A., E. Bustos, J. Ruiz y L. Ruiz. 2002. The effect of radiation in the quality of the avocado frozen pulp. *Radiation Physics and Chemistry* 63:379-382
74. Werman, M.J. e I. Neeman. 1987. Avocado oil production and chemical characteristics. *Journal of the American Oil Chemist's Society* 64 (2):229-232
75. Werman M.J., S. Mokady y . Neeman. 1996. A simple and sensitive method for detecting avocado seed oil in various avocado oils. *Journal of the American Oil Chemist's Society* 73 (5):665-667
76. Wolf G. 2005. The discovery of the antioxidant function of vitamin E: the contribution of Henry A. Mattill. *The Journal of Nutrition* 135:363-366

EXTRACCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE DE CHINENE
(*Persea schiedeana*) Nees.

EXTRACTION AND EVALUATION OF THE QUALITY OF CHINENE OIL (*Persea schiedeana*) Nees

Campos-Hernández, N.; J. G. Cruz-Castillo; A. Hernández-Montes y D. Rubio-Hernández.

RESUMEN

Se estudiaron las características químicas y sensoriales del aceite de pulpa de chinene (*Persea schiedeana* Nees), un fruto nativo de las regiones tropicales y subtropicales de México y Centroamérica. Los frutos fueron cosechados de árboles silvestres en la región de Huatusco, Veracruz. La extracción de aceite con isopropanol y hexano tuvo un rendimiento de 12 % aceite/pulpa (v/p). El aceite de chinene fue comparado con aceites comerciales extra virgen de oliva y aguacate. El aceite de chinene posee menor número de insaturaciones y más ácidos grasos de cadena larga que los aceites de oliva y de aguacate, determinados por el índice de yodo y de saponificación. Los índices de acidez y de peróxidos indican que no presenta rancidez hidrolítica, y la ligera oxidación del aceite está en el nivel permitido. Se determinó el contenido de tocoferoles usando HPLC con fase reversa. El aceite de chinene tiene menor cantidad de α -tocoferol, pero se encontró una concentración similar de γ y δ tocoferol a la de los aceites de oliva y aguacate. Sin embargo, el aceite de chinene presentó la menor actividad antioxidante total, empleando una prueba con DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), que determina la capacidad total de los aceites de atrapar radicales libres. Un panel descriptivo de 8 personas generó 8 atributos para describir los aceites con la técnica de Análisis Descriptivo Cuantitativo, el aceite de chinene fue descrito con aroma a aguacate, herbal, limón, olor a alcohol y pegamento, este aceite presentó menor sensación de aceite residual que el aceite de oliva y aguacate.

Palabras clave: Aceites vegetales, Análisis Descriptivo Cuantitativo, DPPH, HPLC, Tocoferoles.

ABSTRACT

The chemical and sensory characteristics of chinene (*Persea schiedeana* Nees.) oil were studied. The chinene is a fruit native to the tropical and subtropical regions of Mexico and Central America. The fruits were harvested from wild trees in Huatusco, Veracruz. The fruit oil extraction with isopropanol and hexane had a yield of 12 % oil/pulp (v/w). Extra virgin olive and avocado oils were compared with chinene oil. The chinene oil had lower double bonds and more long chain fatty acids than olive and avocado oils, determined by yodo and saponification values. The acidity and peroxide values did not show hydrolytic rancidity, and the slight oil oxidation was within the allowed level. A reversed-phase high-performance liquid chromatography (HPLC) method for determination of tocopherols was developed. The chinene oil had a lower concentration of α -tocopherol, but γ and δ tocopherols concentrations were similar to olive and avocado oils. However, the chinene oil showed the lowest total antioxidant capacity, analyzed with DPPH's test (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), which determined the total free radical scavenging capacity of the oils. Eight descriptors were generated by an eight-member descriptive panel using Quantitative Descriptive Analysis. Avocado aroma, cut grass aroma, lemon aroma, alcohol and adhesive odors were described for the chinene oil; it had a lower oily residual sensation than olive and avocado oils.

Key words: Vegetable oils, Quantitative Descriptive Analysis, DPPH, HPLC, Tocopherols.

1. INTRODUCCIÓN

Persea schiedeana Nees. es conocido comúnmente como chinene o pagua, crece en las selvas y montañas tropicales de México y Centroamérica, su hábitat silvestre se encuentra en áreas cálidas muy húmedas. La principal diferencia entre los árboles de chinene y de aguacate (*Persea americana*) radica en la pubescencia que presenta el primero en flores y yemas, además, los frutos de chinene tienen generalmente menor cantidad de pulpa con un sabor y textura diferente a la del aguacate.

El fruto del chinene como fuente de salud humana es reconocido de manera empírica en la región central de Veracruz por mejorar la digestión; sin embargo, no se ha determinado su contenido nutrimental y las ventajas que posee para la salud humana (Cruz *et al.*, 2004). La principal forma de consumir chinene es untando la pulpa del fruto en tortillas de maíz, en Guatemala agregan la pulpa al caldo de frijoles. Una de las principales causas por la que no se industrializa como se hace actualmente con el aguacate es que posee menor cantidad de pulpa; además, su calidad en fresco está limitada por la incipiente producción o recolección, ya que no existe un paquete tecnológico que permita obtener frutos sanos y de características homogéneas.

Ante el auge de los productos funcionales, han surgido muchas investigaciones enfocadas a aislar y caracterizar la efectividad de algunos fitoquímicos y antioxidantes naturales, y los aceites vegetales en especial aquellos no tradicionales, son importantes porque sus constituyentes tienen propiedades químicas únicas, pero dentro de estos productos no tradicionales *P. schiedeana* no ha sido investigado.

La mayoría de los aceites no convencionales son consumidos en su estado natural, de esta manera conserva un gran número de sustancias menores, las cuales usualmente son removidas durante de la refinación de otros aceites. Estos constituyentes menores pueden ser pro-oxidativos como los ácidos grasos libres e hidroperóxidos, o antioxidantes como tocoferoles, fenoles y fosfolípidos (Tasioula y Okogeri, 2001).

El consumo de alimentos ricos en antioxidantes ofrece protección contra el cáncer y enfermedades neurológicas y cardiovasculares, estos efectos benéficos se han visto en el consumo frecuente de aceite de oliva, ingrediente fundamental de la dieta mediterránea. Debido a que la oliva no es producto nacional y no se tiene el hábito de consumo, en México, la adopción de este aceite en la dieta ha sido lenta; pero el aguacate como fruto es un producto del cual nuestro país es altamente consumidor, por lo cual su aceite puede tener mayor aceptación.

Se ha reconocido un alto porcentaje de ácido oleico en frutos de chinene, alrededor de 33.5-41.7 % (Cruz-Castillo *et al*, 2007), es por ello que una opción de industrialización para el chinene es la obtención de aceite comestible de gran calidad nutricional, pero es necesario conocer más de sus características químicas, sensoriales y la conservación de la vitamina E como principal metabolito que confiere calidad nutricional en los aceites vegetales. Por lo que el presente estudio tuvo como objetivos 1) Evaluar la calidad química del aceite de chinene extraído con solventes. 2) Determinar el contenido de tocoferoles y la capacidad antioxidante total del aceite. 3) Describir las características sensoriales del aceite de chinene.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Extracción

Se emplearon frutos de *Persea schiedeana* Nees, provenientes de cinco árboles silvestres creciendo en Huatusco, Veracruz. Los frutos fueron cosechados en madurez fisiológica diez días antes de finalizar la época de producción en julio de 2007. En el Laboratorio de Bioquímica del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo en Texcoco, Estado de México, el aceite fue obtenido de la pulpa previa adición de 0.02 % m/m de un antioxidante (BHA), a través de maceración con una mezcla de isopropanol:hexano (3:2 v/v), en una proporción 2:1 de solvente:pulpa.

Los solventes se separaron en un rotavapor Heitolph Laborata 4010 Digital (Alemania) y se inyectó nitrógeno (200 mL/min durante 5 horas) para eliminar lo más posible el solvente.

Este procedimiento se realizó en 4 lotes de aproximadamente 20 kilogramos de pulpa, para conocer el rendimiento de la extracción.

2.2 Índices químicos

Los índices de acidez, peróxidos y saponificación se determinaron en aceite de oliva (*Olea europea* L.) extra virgen marca *Ybarra* (Aceites Ybarra S. A. España), aceite de aguacate (*Persea americana* Mill) extra virgen marca *D'Artana* (Huerta Aguacatera Los

Gallos. México) y aceite de chinene (*Persea schiedeana* Nees), de acuerdo con las siguientes normas mexicanas:

NMX-F-101-1987. Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales.

Determinación del índice de acidez.

NMX-F-154-1987. Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales.

Determinación del índice de peróxidos.

NMX-F-174-1981. Alimentos para humanos. Determinación del índice de saponificación en aceites y grasas vegetales o animales.

El índice de yodo se realizó con base en la metodología de la AOAC (1984). Se hicieron tres mediciones repetidas para cada aceite.

2.3 Vitamina E

Las muestras de los aceite de oliva (*Ybarra*), de aguacate (*D'Artana*), y de chinene se sometieron a saponificación de acuerdo con el método descrito por López *et al.* (2006), con algunas modificaciones. El procedimiento consistió en colocar 1.5 mL de aceite en un tubo de ensayo, adicionar 0.5 mL de ácido ascórbico al 25 %, 1 mL de etanol absoluto, agitar y preincubar 5 minutos a 70 °C; después se agregó 1 mL de solución acuosa 10 N de KOH, se incubó a 70 °C por 30 minutos, para realizar la reacción de saponificación.

Posteriormente se adicionó 4 mL de hexano para extraer la fracción no saponificada en una centrifuga Damon Modelo PD-J (IEC Division, EUA), a 1500 rpm por 5 minutos. Se tomaron 3 mL del sobrenadante y se concentró en baño maría a 65 °C y bajo

atmósfera de nitrógeno. Todas las sustancias empleadas fueron grado reactivo analítico. Durante todo el procedimiento las muestras fueron protegidas de la luz con papel aluminio.

Para realizar la inyección al Cromatógrafo de Líquidos de Alta Resolución serie 200 (Perkin-Elmer de México S.A.), la fracción insaponificable fue diluida en 1 mL de cloroformo, y agitada en un vortex por 1 minuto. Las muestras se filtraron con un Acrodisco PVDF 0.45 μm (Millipore Corporation, M.A.) antes de colocarlas en el inyector automático acoplado al cromatógrafo.

Se empleo como fase estacionaria reversa una columna C18 Hypersil ODS (4.6 x 250 mm tamaño de partícula 5 μm) y la fase móvil consistió en metanol:acetonitrilo (50:50) grado HPLC marca Fermont (Productos Químicos de Monterrey S.A. de C.V. México), con un flujo isocrático de 1 mL/minuto. Bajo estas condiciones el tiempo de corrida fue de 15 minutos por muestra. Se empleó un detector de UV visible estableciendo la longitud de onda en 292 nm (Gimeno *et al.*, 2000; Gliszczynska-Swiglo y Sikorska, 2004).

Los estándares de γ y δ tocoferol marca Sigma y α -tocoferol marca Fluka Biochemika (Sigma-Aldrich, Inc. EUA), como solvente se empleo 2-propanol grado HPLC marca Cromasolv (Sigma-Aldrich, Inc. EUA). Se inyectó α -tocoferol cada día de corrida para comparar el tiempo de retención. Se hicieron curvas de calibración para cada estándar, y con base en una regresión lineal se determinó la concentración de los isómeros α , γ y δ

tocoferol en las muestras. Todas las regresiones lineales tuvieron un coeficiente de determinación (R^2) mayor a 0.995.

2.4 Capacidad antioxidante

Para determinar los compuestos antioxidantes que actúan como donadores de hidrógenos se empleó la metodología expuesta por Lavelli (2002), Rossi *et al.* (2007) y Hemalatha y Ghafoorunissa (2007). Se prepararon diluciones de cada aceite en acetato de etilo en un rango de 30-100 μ L, se tomaron 100 μ L de cada solución para reaccionar con 1900 μ L de solución de DPPH 93 μ Mol en acetato de etilo.

La reacción se llevó a cabo durante 30 minutos, posteriormente se midió la absorbancia a 517 nm en un Spectronic Genesys 5 (Milton Roy Company. EUA). El blanco fue acetato de etilo. Se graficó el porcentaje de reducción de DPPH contra la concentración de la muestra para cada aceite, se obtuvo una regresión lineal para cada aceite con un coeficiente de determinación (R^2) mayor a 0.82, y el valor I_{50} fue calculado por extrapolación.

$$\% \text{ DPPH} = ((\text{Absorbancia}_{\text{control}} - \text{Absorbancia}_{\text{aceite}}) / \text{Absorbancia}_{\text{control}}) \times 100$$

I_{50} es definido como la cantidad de muestra de aceite en microlitros requeridos para reducir 50% la concentración inicial de DPPH dividido por el volumen total de DPPH agregado a la solución de aceite (1900 μ L). La prueba se desarrolló para el aceite de oliva marca *Ybarra*, de aguacate marca *D'Artana*, y para el aceite de chinene obtenido.

2.5 Análisis sensorial descriptivo

Los panelistas fueron seleccionados con el análisis secuencial usando pruebas triangulares de acuerdo al método descrito por Meilgaard (1999). De un grupo de 18 personas se seleccionaron 8 individuos por su habilidad sensorial, siete mujeres y un hombre entre 20 y 22 años de edad. Los parámetros establecidos fueron: probabilidad del error tipo I $\alpha=0.05$, probabilidad del error tipo II $\beta= 0.10$ y la proporción de la población que puede discriminar entre aceites (p_d) = 40%.

Se realizó un Análisis Descriptivo Cuantitativo (QDA) para caracterizar sensorialmente los aceites de oliva (*Ybarra*), de aguacate (*D'Artana*), y de chinene. Se pidió a los panelistas describir los tres aceites, a fin de generar su propia terminología; el líder del panel dirigió una discusión para establecer por consenso los descriptores, las referencias y los valores de intensidad para cada referencia, y no participó. Se empleó una escala de intensidad de 15 cm, donde 0 es ausencia del atributo y 15 es extremadamente fuerte.

El panel recibió un entrenamiento de 46 horas para familiarizarse con los atributos y el uso de la escala. Las evaluaciones de monitoreo así como la evaluación final se desarrollaron en cabinas individuales. Se presentaron los tres aceites juntos pero en orden aleatorio, con tres repeticiones; se colocaron 7 mL de aceite en vasos del #0, los cuales fueron cubiertos con cinta masking tape y tapados con aluminio perforado (5 perforaciones de 0.5 x 0.2 cm cada una) a fin de evitar que el color de las muestras afectara la calificación de los panelistas.

A excepción de las referencias olor a alcohol y pegamento que fueron colocadas en viales de 3 mL, el resto de las referencias fueron colocadas en vasos del #0, estuvieron disponibles en todas las sesiones de entrenamiento y la evaluación final. Para el atributo “aceite residual” se preparó ensalada de lechuga romana (media pieza) aderezada con 20 mL de aceite, el panel no consideró necesaria una referencia para la evaluación de este atributo.

2.6 Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza para un diseño de bloques al azar y prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ para los índices químicos, vitamina E y capacidad antioxidante.

Para los datos sensoriales, se desarrolló un análisis de varianza utilizando un diseño de bloques al azar con un arreglo de parcelas divididas, donde las tres repeticiones fueron consideradas como bloques, la parcela mayor son los tratamientos aceite de oliva *Ybarra*, de aguacate *D'Artana*, y de chinene, y la parcela menor los panelistas. La comparación de medias se realizó con prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

Para considerar válidos los resultados se esperó la no interacción significativa panelista*tratamiento, siendo el principal indicador para monitorear el desempeño del panel, además de análisis de componentes principales (ACP).

También se desarrolló ACP para todos los atributos sensoriales, a fin de facilitar la interpretación de las características que describen a estos aceites. Todos los análisis fueron ejecutados en Statistical Analysis System SAS versión 9.1.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Extracción

La obtención del volumen total de aceite de chinene se realizó en cuatro lotes, teniéndose un rendimiento promedio de $12.12 \% \pm 0.96$ en base a la pulpa, este valor es ligeramente inferior al contenido de grasa en pulpa de aguacate Hass base húmeda de 17.1 % reportado por Jiménez *et al.* (2001), ó 15.8 % cuantificado por Moreno *et al.* (2003). Existe un gran número de cultivares de aguacate disponibles, pero sólo aquellos con más alto contenido de aceite deberían ser considerados para la extracción (Human, 1987), por lo que *Persea schiedeana* debe considerarse con potencial para este producto agroindustrial.

De los diferentes métodos de extracción que existen, la extracción con solventes es la que presenta mayor rendimiento, como lo demuestra Moreno *et al.* (2003) quien obtuvo un rendimiento de 97 % al combinar microondas y hexano y un rendimiento de 65.2 % cuando uso microondas pero combinado con presión mecánica. Por otra parte, Jiménez *et al.* (2001) lograron rendimiento de 80 y 76 % con hexano y éter etílico, respectivamente. Con base en esto se empleó una combinación de hexano e isopropanol como solventes de extracción, el isopropanol se usó para mejorar la eficiencia de extracción de otros compuestos de interés, como los carotenos. El aceite obtenido es de color verde translúcido, sin embargo, presenta una precipitación color blanco a temperatura ambiente, lo que genera turbidez en el mismo.

3.2 Análisis químico

En el cuadro 4 se muestran los valores de las propiedades químicas determinadas en aceite de oliva *Ybarra*, de aguacate *D'Artana*, y aceite de chinene extraído con hexano e isopropanol. Existe diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre los aceites analizados en cuanto a porcentaje de ácidos grasos libres, índice de saponificación y peróxidos. Y resultaron estadísticamente iguales en cuanto al valor del índice de yodo.

Cuadro 4. Valores de los índices químicos determinados en aceite de chinene, de oliva y aguacate.

Aceite	Acidez Libre ¹	Índice de peróxidos ²	Índice de saponificación ³	Índice de Yodo (Hanus) ⁴
Chinene	0.161 c	9.67 a	197.13 b	64.13 a
Oliva	0.428 a	6.66 b	206.82 a	105.58 a
Aguacate	0.21 b	6.67 b	206.88 a	99.49 a

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

¹% de ácido oleico, ² mEq de peróxido kg⁻¹, ³ mg KOH g⁻¹ y ⁴ g de yodo/100g

Letras iguales en columnas, no hay diferencia significativa con $\alpha=0.05$.

3.2.1 Índice de acidez

La producción de ácidos grasos libres es debida a la actividad de lipasas o a la humedad, provocando hidrólisis de los triacilglicéridos, su formación es acelerada por luz y calor, generando aromas y sabores desagradables, sobre todo cuando existen ácidos grasos de bajo peso molecular; pero en este caso el aceite de chinene presenta más ácidos grasos

de cadena larga y el índice de acidez indica la frescura del producto, a menor índice de acidez mayor frescura del aceite, y el deterioro de los ácidos grasos no tiene influencia en la presencia de olores desagradables, debido a su baja volatilidad.

La determinación de ácidos grasos libres es también una medida inicial de la naturaleza y calidad del material vegetal empleado, calidad y grado de pureza de una grasa y del procesamiento, que condicionan la preservación de los lípidos (Hui, 1991; citado por Osawa *et al.*, 2007).

Ozdemir y Topuz (2003) encontraron que el ácido oleico en aguacate aumenta durante el periodo de madurez mientras que otros ácidos grasos disminuyen, de igual forma en frutos de chinene Cruz-Castillo *et al.* (2007) encontraron que el ácido oleico es el más importante; es por ello que se consideró este ácido graso para la determinación de acidez.

Los ácidos grasos libres en el aceite de chinene están presentes en menor cantidad respecto a los reportados en aceite de aguacate, cuando se emplea hexano para su extracción (Bora *et al.*, 2001; Jiménez *et al.*, 2001 y Moreno *et al.*, 2003), y ligeramente mayor que cuando el aceite de aguacate fue extraído por prensado en frío con un tratamiento previo de menos de 15 minutos de exposición a microondas; ya que, según Moreno *et al.* (2003) los aceites que son procesados con solventes tienen un valor de acidez más alto que aquellos procesados con microondas, siendo éste más alto cuando el solvente empleado es acetona. Sin embargo, la acidez de ninguno de los aceites

analizados supera el máximo permitido por el Codex Alimentario para aceites comestibles diferentes al de oliva, el cual es de 2 % de ácido oleico.

3.2.2 Índice de peróxidos

De igual forma la presencia de peróxidos es mayor en aceites extraídos con solventes, el valor reportado por Moreno *et al.* (2003) es casi tres veces mayor que en el aceite obtenido con microondas y prensado. El aceite de oliva es generalmente obtenido por prensado en frío y se desconoce las condiciones de procesamiento del aceite de aguacate evaluado, pero su contenido de peróxidos es bajo y sugieren que el procesamiento también fue por presión mecánica. El aceite de chinene presenta un ligero avance en el proceso de oxidación de los ácidos grasos y formación de radicales libres, que se puede traducir en un mayor deterioro de sus componentes de interés nutricional y sensorial, sin embargo, el índice de peróxidos no supera el máximo permitido por el Codex-Stan-019-1981 para aceites comestibles diferentes al de oliva (15 mEq de oxígeno peroxídico).

3.2.3 Índice de saponificación

El valor de saponificación tiene una relación inversa con el peso molecular de los ácidos grasos y cambia cuando se presentan reacciones adicionales con ellos (Jiménez *et al.*, 2001). El aceite de chinene presenta el valor más bajo de saponificación de los aceites analizados, y además la mayoría de los valores reportados son superiores a 200 mg de KOH/g de aceite, excepto los encontrados por Bora *et al.* (2001) y Moreno *et al.* (2003)

en donde se emplea hexano y acetona, respectivamente. Si bien la diferencia se reporta significativa en comparación con los aceites analizados, la magnitud de ésta es prácticamente igual al rango teórico del aceite de oliva (184-196), establecido por el Codex-Stan-033-1981.

En el aceite que se obtuvo de la extracción con hexano e isopropanol se observa sedimentación y turbidez, al igual que el aceite extraído por Moreno *et al.* (2003) cuando se usó acetona; lo cual sugiere una posible presencia de polímeros derivados de los compuestos de oxidación de los ácidos grasos y por tanto, la presencia de una gran cantidad de materia insaponificable; la fracción insaponificable de diferentes aceites ha sido de gran interés en la industria cosmética, sin embargo debe analizarse más detalladamente el tipo de compuestos que están presentes, para determinar el uso potencial de la fracción sedimentada.

3.2.4 Índice de yodo

No existió diferencia significativa del índice de yodo en el aceite de chinene y el aceite de aguacate, sin embargo, su valor está por debajo del promedio de los valores reportados para aceite de aguacate (Bora *et al.*, 2001; Human, 1987; Jiménez *et al.*, 2001 y Moreno *et al.*, 2003), el cual es de 85 g de yodo/100g de muestra. Pero su índice de yodo indica que es un aceite que se encuentra clasificado dentro de los aceites insaturados (Jiménez *et al.*, 2001), aunque los aceites insaturados son susceptibles a

reacciones oxidativas, su consumo es ampliamente recomendado para prevenir enfermedades cardiovasculares.

Durante la maduración de frutos de aguacate se incrementa la síntesis de enzimas, que son responsables de los cambios durante la madurez y putrefacción de los frutos (Wong, 1989; citado por Elez-Martínez *et al.*, 2005), en la fracción lipídica esta descomposición es consecuencia de la autooxidación; las reacciones de autooxidación son aún más aceleradas en aceite de aguacate que en otros aceites, ya que se tiene mayor cantidad de clorofila la cual incrementa las tasas de fotooxidación (Elez-Martínez *et al.*, 2005). Estos cambios se presentaron en los frutos de chinene, debido a que el aceite fue extraído de frutos maduros, en el tiempo en que se presenta el pico climatérico que es a los 3 días después del corte, como lo reporta Cruz-Castillo *et al.* (2007), donde los procesos tienden a la senescencia del fruto. Si bien la cantidad de aceite después de la maduración es mayor (Martínez y Moreno, 1995; citados por Ozdemir y Topuz, 2003), después de los 4 días de cosecha, los ácidos grasos monoinsaturados se mantienen pero incrementan los ácidos grasos poliinsaturados (Ozdemir y Topuz, 2003), estos ácidos grasos son más susceptibles a rancidez oxidativa y formación de peróxidos, sus dobles enlaces son oxidados y por tanto el índice de yodo tuvo un menor valor en comparación con el aceite de oliva y aguacate, sin embargo, no se encontró diferencia significativa. Esto se explica por la variabilidad de los resultados, la cual puede atribuirse al tiempo de reacción de halogenación a la que se sometieron las muestras, que varió de 30-40 minutos, intervalo en el que se titulaban cuatro muestras; pero cabe mencionar que este índice es reportado como un rango de hasta 25 unidades (Codex-Stan-033-1981), por lo tanto, es posible no encontrar una diferencia real entre estos aceites.

3.2.5 Vitamina E

La principal fuentes de vitamina E en la dieta humana son los aceites vegetales, los cuales contienen 70-1900 mg de tocoferoles por kilogramo de aceite (Gliszczynske-Swiglo y Sicorska, 2004). En el Cuadro 5 se reportan los valores de α , β - γ y δ tocoferol, analizados por HPLC en aceites de oliva, aguacate y chinene; encontrándose diferencia significativa ($\alpha=0.05$) del aceite de chinene con respecto al de oliva y aguacate, éstos últimos fueron estadísticamente iguales entre ellos, y superiores al de chinene en contenido total de vitamina E.

La cantidad de vitamina E total en aceite de oliva fue superior a aquella reportada por Desai *et al.* (1988), Gliszczynske-Swiglo y Sicorska (2004), Pellegrini *et al.* (2001) y Quiles *et al.* (2002), que varían de 120 a 194 mg/kg en aceites de oliva y de 251 a 369 mg/kg en aquellos de tipo extra virgen. La gran variabilidad de la cantidad de vitamina E en aceites comestibles ha sido ampliamente reportada, y se relaciona con factores genéticos, agronómicos, ambientales, con los métodos de extracción y con las condiciones de almacenamiento.

La base de datos USDA-HealthTeach SR Search (2008) reporta 24.7 mg de tocoferoles totales por kilogramo de porción comestible de aguacate, lo cual es aproximadamente 164.6 mg/kg de aceite si consideramos 15 % de grasa en el aguacate Hass. Lozano *et al.* (1993) analizaron aguacates de las variedades Lula, Bacon, Zutano y Fuerte sin encontrar diferencia significativa debida a la variedad, pero si en función de su estado de madurez, los aguacates con 15 semanas después de floración poseen mayor contenido de vitaminas y esteroides que aquellos cosechados a las 36 semanas después de floración. En

estado maduro la variedad Lula contiene 103 mg de tocoferol/kg de aceite, Bacon 87 mg, Fuerte 57 mg y Zutano 69 mg. La concentración de tocoferoles totales en el aceite de aguacate fue de 300.5 mg/kilogramo, lo cual es superior a la cantidad reportada en aguacate Hass, mientras que la concentración encontrada en el aceite de chinene es similar, pero posee mayor cantidad de tocoferoles totales (137.9 mg/kg) que las variedades Lula, Bacon, Zutano y Fuerte.

Cuadro 5. Contenido de tocoferoles y actividad antioxidante de aceite de oliva, aguacate y chinene.

Aceite	α -tocopherol (mg kg ⁻¹)	β - γ - tocopherol (mg kg ⁻¹)	δ -tocopherol (mg kg ⁻¹)	Vitamina E Total (mg kg ⁻¹)	I ₅₀ (μ L de aceite) ¹	1/I ₅₀ x 100 (μ L ⁻¹) ¹
Oliva	304.16 a	98.15 a	18.29 a	420.6 a	23.46	4.26
Aguacate	172.96 a	90.04 b	37.59 a	300.6 a	23.74	4.21
Chinene	30.83 b	90.02 b	17.08 a	137.9 b	50.27	1.99

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

Letras iguales en columnas, no hay diferencia significativa con $\alpha=0.05$ y $n=3$.

¹Extrapolación de tres diferentes ecuaciones lineales $n=9$ y $R^2>0.995$.

Si bien los valores encontrados son altos, existen otros aceites cuyo contenido es superior; por ejemplo, de acuerdo a Desai *et al.* (1998) y Seppanen *et al.* (2003), el aceite de soya refinado y crudo contiene de 1169 a 1459 mg de tocoferoles/kg de aceite, respectivamente; el de maíz posee 815.8 mg de tocoferoles/kg de aceite y el de girasol hasta 625.3 mg de tocoferoles/kg de aceite (Gliszczynske-Swiglo y Sicorska, 2004). Ramadan y Moersel (2006) estudiaron diferentes aceites no tradicionales de

semillas que ya son comercializados, tales como aceite de semilla de cilantro, de comino negro y de semilla de Niger y encontraron en ésta última hasta 1947 mg de tocoferoles/kg de aceite.

La ingesta de vitamina E ha sido asociada inversamente con un bajo riesgo de enfermedades cardiovasculares, y es el α -tocoferol quien exhibe la mayor actividad en la prevención de anomalías producto de la deficiencia de esta vitamina. El aceite de oliva se ha conocido por ser una fuente importante de α -tocoferol y aquí se reporta con 304.16 mg/kg; en el análisis realizado se encontró diferencia significativa de α -tocoferol contenido en este aceite, y los aceites de aguacate y chinene, este isómero es el más representativo en el aceite de oliva como lo indican Gliszczynske-Swiglo y Sicorska (2004) y Desai *et al.* (1988).

En aceites de soya, maíz, palma roja, cacahuete, cilantro y colza la proporción de γ -tocoferol es mayor a la de α -tocoferol (Desai *et al.* 1988; Gliszczynske-Swiglo y Sicorska, 2004 y Ramadan y Moersel, 2006), esta misma característica fue encontrada en el aceite de chinene. Se cree que γ -tocoferol ejerce mayor protección contra los radicales libres que α -tocoferol, por ello la importancia de su cuantificación, en este caso, hubo diferencia significativa entre el aceite de olivo cuyo aporte es de 98 mg/kg, mientras que en el aceite de aguacate y chinene está presente alrededor de 90 mg/kg de aceite. Estas cantidades son relativamente bajas cuando las comparamos con aceites no tradicionales como los obtenidos de semillas de algunos “berries” que poseen de 328 a 688 mg de γ -tocoferol/kg reportados por Parry *et al.* (2005), o bien más de 550 mg que se han cuantificado en aceite de maíz, soya y semilla de Níger (*Guizotia abyssinica*

Cass.) (Desai *et al.* 1988; Gliszczynske-Swiglo y Sicorska, 2004; Ramadan y Moersel, 2006 y Seppanen *et al.* 2003).

La concentración de δ -tocoferol no fue significativamente diferente entre los aceites, los valores son bajos, hasta en el aceite de oliva Desai *et al.* (1988), reportan sólo trazas de este isómero, es decir, la cantidad presente en la mayoría de los aceites no es significativa; este tocoferol es de menor importancia por su baja actividad biológica (Badui, 1993), sin embargo, según Espín *et al.* (2000), su eficiencia como antioxidante es mayor que γ y α .

3.2.6 Capacidad antioxidante

En el cuadro 5 se presentan los valores I_{50} y su inverso, el primero representa los microlitros de aceite que se necesitan para reducir al 50 % la concentración inicial de radicales de DPPH; se encontró que el aceite de aguacate y de oliva poseen una capacidad antioxidante semejantes, de ambos se requieren alrededor de 23 microlitros para reducir el 50 % del DPPH, sin embargo, del aceite de chinene se necesita el doble de muestra para tener este efecto, por lo que su capacidad antioxidante es menor.

Rossi *et al.* (2007) evaluaron aceites refinados de palma, girasol, girasol adicionado con aceite de avellana, así como aceite de oliva comprado en supermercado, y encontraron que éste último tuvo la más débil actividad antioxidante expresada en $1/I_{50} \times 100$, con un valor de 1.67, valor muy por abajo del que se encontró en esta investigación; pero similar a aquellos reportados para aceite de girasol (5.12) y a un tipo de aceite de palma

(4.99), el aceite de chinene tendría un valor similar al obtenido por estos autores en la muestra de aceite de oliva, pero inferior al encontrado para los aceites de oliva y aguacate estudiados.

Se requieren hasta 50 microlitros de aceite de chinene para reducir el DPPH al 50%, este valor es comparable con los obtenidos por Lavelli (2002) entre 51-94 μL de aceite/mL en aceites de oliva de varias marcas adquiridos en el supermercado, esto es importante para considerar las condiciones a las que estuvieron sujetos esos aceites durante su almacenamiento, ya que condiciones semejantes fueron empleadas en esta investigación (oscuridad y temperatura ambiente); Lavelli (2002) encontró que la capacidad antioxidante parece estar relacionada con el nivel de degradación de los aceites, pues los aceites frescos fueron de 3 a 5 veces más eficientes que los aceites viejos, mientras que los aceites comerciales tienen una eficiencia intermedia. En aceites frescos fueron necesarios de 27.9-32 μL de aceite/mL para reducir la solución de DPPH, éstos además fueron extraídos por prensado en frío y centrifugación, sus valores son cercanos a los obtenidos en el aceite de oliva y en el de aguacate, que se sabe derivan de este mismo procedimiento de extracción; por esta razón, tienen una capacidad antioxidante hasta dos veces mayor al aceite de chinene obtenido con solventes. El calentamiento a temperaturas de freído en aceites refinados de girasol también ha reportado valores mayores a 50 μL de aceite/mL (Hemalatha y Ghafoorunissa, 2007).

Los resultados del presente estudio comprueban lo establecido por Rossi *et al* (2007) quienes encontraron una correlación positiva entre la capacidad de atrapar radicales libres de aceites y el contenido total de tocoferoles y tocotrienoles empleando el método

de DPPH. Sin embargo, Ramadan y Moersel (2002) encontraron una correlación positiva entre la capacidad antioxidante y el contenido de fitosteroles en aceites de cilantro (*Coriandrum sativum* L.), semilla de Níger (*Guizotia abyssinica* Cass.) y de comino negro (*Nigella sativa* L.), pero negativa con el contenido de tocoferoles y fenoles cuando fueron analizados por separado, y esto es debido a que la capacidad de los aceites de atrapar radicales libres es el resultado de la acción combinada de diferentes antioxidantes endógenos, de este modo, cuando compuestos polares como lípidos polares y compuestos fenólicos están presentes en altas cantidades, estos tienen una fuerte influencia en el aumento de la capacidad antioxidante.

Aun cuando en este estudio no se determinó el color sensorial o instrumental, su tono verde sugiere la presencia de carotenos, luteínas y clorofilas que son pigmentos antioxidantes presentes en el aguacate y que son de interés farmacológico, pues confieren beneficios a la salud en la disminución de riesgo de enfermedades coronarias, cataratas, diabetes y cáncer de próstata (Ashton *et al.*, 2006).

3.3 Análisis sensorial descriptivo

El panel entrenado generó siete atributos de aroma y uno de sensación de aceite residual. Los atributos, su definición y referencias se pueden ver en el Cuadro 6. Durante el entrenamiento se observó que algunos panelistas persistían en presentar interacción cruzada para algunos atributos, por lo que su evaluación fue eliminada, según el caso. El aroma a aguacate y oliva fueron analizados con cinco panelistas, para analizar el aroma herbal, frutal, limón y alcohol se consideraron seis panelistas, y para el análisis de olor a

pegamento y aceite residual se consideraron las evaluaciones de siete integrantes del panel.

Cuadro 6. Descriptores sensoriales, definiciones y referencias para la evaluación de aceites de oliva, aguacate y chinene.

Descriptor	Definición	Referencia	Intensidad
Aroma aguacate	Aroma al fruto de aguacate con cáscara, en madurez de consumo.	3 cubos de aguacate con cáscara de 0.5 cm.	11
Aroma herbal	Aroma intenso a hierba fresca o pasto recién cortado.	Hoja fresca de aguacate en cuadros de 1 cm.	9
Aroma oliva	Aroma característico de frutos de olivo.	2 aceitunas en salmuera <i>Ybarra</i> (Aceites <i>Ybarra</i> S.A. España).	8
Aroma afrutado	Aroma frutal de la combinación de plátano y manzana.	Cubos de manzana amarilla de aproximadamente 1 cm ³	10
Aroma limón	Aroma asociado a zumo de cítricos.	1/8 de pieza de limón mexicano.	12
Olor alcohol	Olor tenue a etanol.	Aceite de oliva <i>Ybarra</i> (Aceites <i>Ybarra</i> S.A. España) diluido en isopropanol (Mundo Químico S.A. México) (1:9 v/v) en viales de 3 mL.	8.5
Olor pegamento	Sensación irritante en las fosas nasales, relacionado con thinner, pegamento o pintura.	Aceite de oliva <i>Ybarra</i> (Aceites <i>Ybarra</i> S.A. España) diluido en hexano (Mundo Químico S.A. México) (1:9 v/v) en viales de 3 mL.	11
Aceite residual	Sensación de recubrimiento en la cavidad bucal después de expectorar la muestra.		

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

El Análisis de Componentes Principales de los atributos sensoriales (Cuadro 7) permitió realizar una exploración de los datos encontrados, y muestra que en el primer componente principal (CP1) se explica el 57.3 % de la varianza y se correlacionó positivamente con aroma oliva y limón y negativamente con aroma aguacate y herbal; el segundo componente explica el 42.7 % de la variación de los datos y se relaciona positivamente con aroma frutal y de forma negativa con olor a pegamento y alcohol.

Cuadro 7. Cargas de correlación de los primeros dos componentes principales del Análisis de Componentes Principales de los atributos sensoriales de los aceites de oliva, aguacate y chinene.

Atributo	CP 1	CP 2
Aguacate	-0.4115	0.2559
Herbal	-0.4437	0.1691
Oliva	0.4672	-0.00001
Frutal	-0.0191	0.5405
Limón	0.4451	-0.1642
Alcohol	-0.0899	-0.5308
Pegamento	-0.2193	-0.4776
Grasa residual	0.4001	0.2775

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

Cuadro 8. Calificaciones de los primeros dos componentes principales del Análisis de Componentes Principales de los aceites de oliva, aguacate y chinene.

Aceite	CP1	CP2
Oliva	1.1540	-0.0397
D'Artana	-0.5427	1.0193
Chinene	-0.6114	-0.9796

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

Al obtener las calificaciones para los tratamientos (Cuadro 8) y graficarlos junto con las cargas de correlación de las variables (Cuadro 7), se obtiene una representación gráfica exploratoria de las características de los aceites estudiados (Figura 1). Se aprecia que el aceite de aguacate se caracteriza por tener mayor intensidad de aroma a aguacate, herbal y frutal, el aceite de olivo presenta aroma típico de los frutos del olivo, limón y mayor sensación de aceite residual, por otro lado, el aceite obtenido de frutos de chinene fue descrito con notas desagradables de olor a pegamento y alcohol.

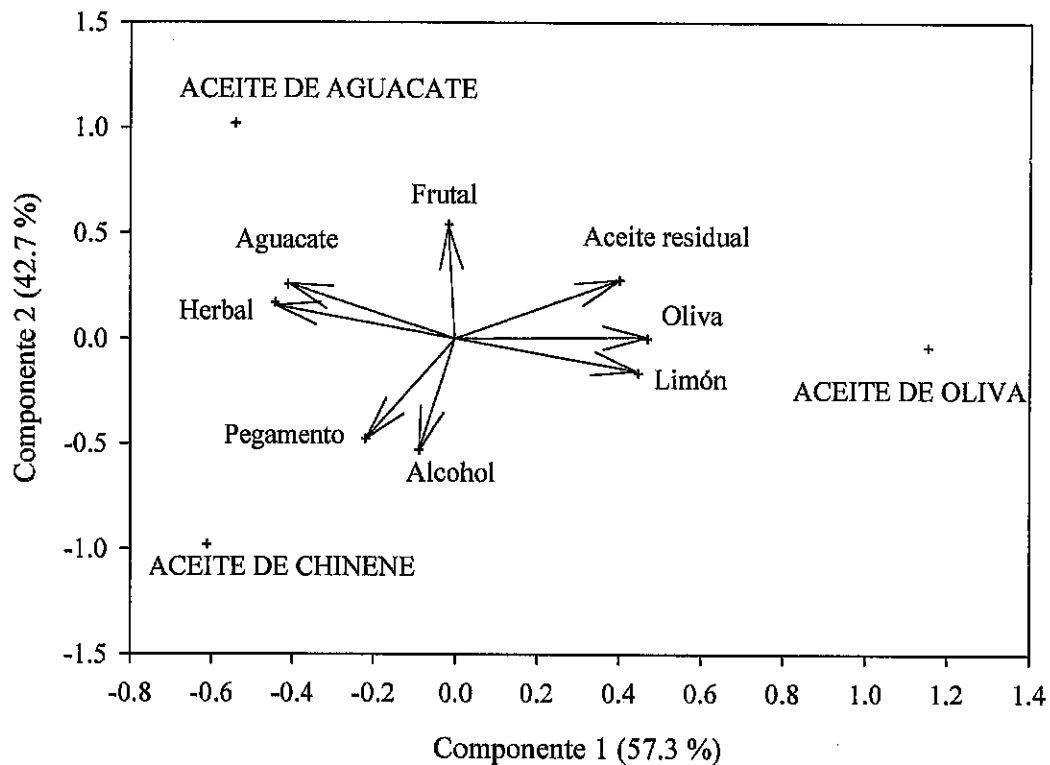


Figura 1. Mapa descriptivo de los aceites de oliva, aguacate y chinene.

Los resultados del Análisis Descriptivo Cuantitativo (Cuadro 9) muestran diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en todos los atributos entre el aceite de chinene y el aceite de oliva, respecto al aceite de aguacate el aceite de chinene estadísticamente no es diferente en los atributos herbal, oliva y limón. En la Figura 2 se presenta la grafica

radial que caracteriza sensorialmente los aceites de oliva (*Ybarra*), de aguacate (*D'Artana*) y de chinene.

Cuadro 9. Valores de la intensidad de los atributos sensoriales en aceite de oliva, aguacate y chinene.

Atributo	Oliva	Aguacate	Chinene
Aguacate	1.45 c	7 a	4.54 b
Herbal	3.37 b	5.43 a	4.83 a
Oliva	4.97 a	1.34 b	1.2 b
Frutal	3.84 b	6.20 a	2.03 c
Limón	4.41 a	2.46 b	3.0 b
Alcohol	1.74 b	0.93 c	3.17 a
Pegamento	1.64 b	1.14 b	7.62 a
Aceite Residual	7.79 a	5.56 b	2.9 c

Letras iguales en filas no hay diferencia significativa con $\alpha=0.05$.

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales.

En cada uno de los aceites prevalece el aroma a su respectivo fruto, sin embargo en chinene la intensidad de aroma a aguacate es menor. En aroma herbal los aceites de aguacate y chinene tienen mayor intensidad que el aceite de oliva, este atributo ha sido descrito en aceite de oliva como herbal, pasto cortado, hojas tiernas de olivo u hojas frescas en general (Aparicio y Morales, 1995; Caporale *et al.*, 2004; Servili *et al.*, 1995 y Rotondi *et al.*, 2004) y relacionado con *cis*-3-hexen-1-ol, el cual tiene un efecto de realce sobre la percepción de amargor (Aparicio y Morales, 1995 y Ranalli *et al.*, 2001), como una característica negativa en los aceites.

Aroma frutal, manzana, plátano o dulce, han sido reportados también en aceite de oliva, tal como fue descrito por el panel de esta investigación, y donde el aceite de aguacate es superior en intensidad, Morales *et al.* (1994) lo relacionan a la presencia de 1-hexanol y *trans*.2-hexenal.

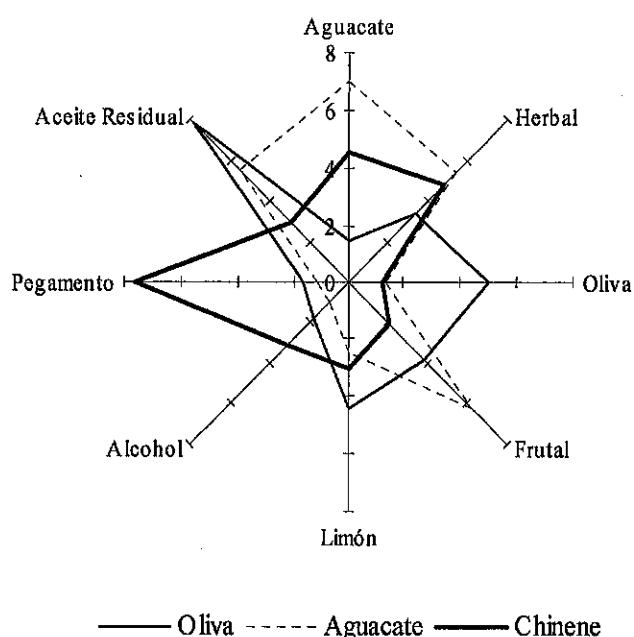


Figura 2. Atributos sensoriales usados por el panel para describir aceite de oliva, aceite de aguacate y aceite de chinene.

De acuerdo a lo reportado por Requejo *et al.* (2003), las características positivas del aceite de aguacate descritas por un panel de *HortResearch* en Nueva Zelanda fueron ahumado, con sabor a nuez, a mantequilla y ligeramente picante, ninguna de las cuales fue descrita por nuestro panel; las características negativas fueron sabor a rancio, pescado y pintura, el aroma a pintura o pegamento fue usada para describir el aceite de chinene. Estas últimas características se señalaron al analizar muestras de aceites extraídos incorrectamente, por ejemplo, aceites extraídos a partir de fruta podrida o de aceites oxidados.

4. CONCLUSIONES

El aceite obtenido de frutos maduros de chinene posee más ácidos grasos de cadena larga y con menor número de insaturaciones, en relación con los aceites de aguacate Hass y de olivo. El grado de acidez del aceite indica poco o nulo avance de la rancidez hidrolítica, su índice de peróxidos se encuentra dentro de la norma, por tanto, no presenta tendencia a rancidez oxidativa. Su contenido total de vitamina E (tocoferoles totales) y capacidad antioxidante es menor a la del aceites de aguacate Hass y olivo, sin embargo, la concentración de γ y δ tocoferol, isómeros con mayor poder antioxidante, es similar a la de estos aceites.

El aceite de chinene fue descrito con ligeros estímulos de aroma a aguacate, herbal, y limón, pero también presentó notas negativas de olor a pegamento y alcohol, que se relacionan con frutos sobre maduros. Confiere una baja sensación de aceite residual en boca, comparado con aceite de olivo y de aguacate Hass.

Por lo tanto, el chinene (*Persea schiedeana* Nees.) tiene potencial agroindustrial para la producción de aceite comestible, debido a su alto contenido de aceite en pulpa y el buen rendimiento de extracción alcanzado con una mezcla de hexano e isopropanol.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. AOAC. 1984. Official Methods of Analysis. Edición centenal. EUA.
2. Aparicio R. y M.T Morales. 1995. Sensory wheels: a statistical technique for comparing QDA panels-application to virgin olive oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67:247-257
3. Ashton O. B. O., M. Wong, T. K. McChie, R. Vather, Y. Wang, C. Requejo-Jackman, P. Ramankutty y A. B. Woolf. 2006. Pigments in avocado tissue and oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54:10151-10158
4. Badui D.S. 1993. Química de los alimentos. Alhambra Mexicana. 3ra. Edición. México. 648 p
5. Bora P. S., N. Narain, R.V.M. Rocha y M. Q. Paulo. 2001. Characterization of the oils the pulp and seed of avocado (cultivar: Fuerte) fruits. *Grasas y Aceites* 52 (3-4):171-174
6. Caporale G., S. Policastro y E. Monteleone. 2004. Bitterness enhancement induced by cut grass odorant (cis-3-hexen-1ol) in a model olive oil. *Food Quality and Preferente* 15:219-227
7. Codex-Stan-033-1981. Norma del Codex para los aceites de oliva vírgenes y refinados y los aceites de orujo de aceituna.
8. Codex-Stan-019-1981. Norma del Codex para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales del Codex Stan.

16. Hemalatha S. y Ghafoorunissa. 2007. Sesame lignans enhance the thermal stability of edible vegetable oils. *Food Chemistry* 105:1076-1085
17. Human T.P. 1987. Oil as byproduct of the avocado. *South African Avocado Grower's Association Yearbook* 10:159-162
18. Jiménez M.E., M.R. Aguilar, M.L. Zambrano y E. Kolar. 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
19. Lavelli V. 2002. Comparison of the antioxidant activities of extra virgin olive oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:7704-7708
20. López O.C.M., M.S. Prats M. y V. Berenguer N. 2006. A rapid chromatographic method for simultaneous determination of β -sitosterol and tocopherol homologues in vegetable oils. *Journal of Food Composition and Analysis* 19:141-149
21. Lozano F. Y., C. Dhuique Mayer, C. Bannon y E.M. Gaydou. 1993. Unsaponifiable matter, total sterol and tocopherol contents of avocado oil varieties. *Journal American Oil Chemists Society* 70(6):561-565
22. Meilgaard M. 1999. Sensory evaluation techniques. 3ra ed. CRC Press. Florida, EUA. 387 p
23. Morales M.T., R. Aparicio y J.J. Ríos 1994. Dynamic headspace gas chromatographic method for determining volatiles in virgin olive oil. *Journal of Chromatography* 68:455-462
24. Moreno O.A., L. Dorantes, J. Galíndez y R.I. Guzmán. 2003. Effect of different methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical

properties of avocado (*Persea americana* Mill) oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51(8):2216-2221.

25. NMX-F-101-1987. Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de acidez. México.
26. NMX-F-154-1987. Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de peróxidos. México.
27. NMX-F-174-1981. Alimentos para humanos. Determinación del índice de saponificación en aceites y grasas vegetales o animales. México.
28. Osawa C.C., L.A. Guaraldo G. y S. Ragazzi. 2007. Correlation between free fatty acids of vegetables oils evaluated by rapid test and by the official method. Journal of Food Composition and Analysis 20:523-528
29. Ozdemir F. y A.Topuz. 2003. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. Food Chemistry. Artículo en impresión, disponible en línea www.sciencedirect.com
30. Parry J., L. Su, M. Luther, K. Zhou, M.P. Yurawecz, P. Whittaker y L. Yu. 2005. Fatty acid composition and antioxidant properties of cold-pressed marionberry, boysenberry, red raspberry y blueberry seed oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53:566-573
31. Pellegrini N., F. Visioli, S. Buratti y F. Brighenti. 2001. Direct analysis of total antioxidant activity of olive oil and studies on the influence of heating. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49:2532-2538

32. Quiles J.L., M.C. Ramírez-Tortosa, J. Alonso G., J.R. Huertas y J. Mataix. 2002. Role of vitamin E and phenolic compounds in the antioxidant capacity, measured by ESR, of virgin olive, olive and sunflower oils after frying. *Food Chemistry* 76:461-468
33. Ramadam, M.F. y J.T. Moersel. 2006. Screening of the antiradical action of vegetable oils. *Journal of Food Composition and Analysis* 19:838-842
34. Ranalli A., A. Malfatti y P. Cabras. 2001. Composition and quality of pressed virgin olive oils extracted with a new enzyme processing aid. *Journal of Food Science* 66 (2):592-603
35. Requejo C., C. Lund, A. White, M.Wong, T. McGhie, L. Eyres, L. Boyd y A. Woolf. 2003. Aceite de aguacate por presión en frío-Una novedad saludable. Congreso Mundial del Aguacate V. España. Resumen A-205. 460-461
36. Rossi M., C. Alamprese, S. Ratti. 2007. Tocopherols and tocotrienols as free radical-scavengers in refined vegetable oils and their stability during deep-fat frying. *Food Chemistry* 102:812-817
37. Rotondi A., A. Bendini, L. Cerretani, M. Mari, G. Lercker y T. G. Toschi. 2004. Effect of olive ripening degree on the oxidative stability and organoleptic properties of cv. Nostrana di Brisighella extra virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:3649-3654
38. Statistical Analysis System SAS. versión 9.1. SAS Institute, Inc.
39. Seppanen C.M., M. Rahmani y A. Saari Csallany. 2003. Simultaneous determination of chlorophylls, pheophytins, β -carotene, tocopherols, and tocotrienols in olive and soybean oils by high-performance liquid chromatography. *Journal of Food Science* 68:1644-1647

40. Servili M., J. M. Conner, J.R. Piggott, S.J. Withers y A. Paterson. 1995. Sensory characterization of virgin olive oil and relationship with headspace composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 67:61-70
41. Tasioula M. M. y Okogeri, O. 2001. Isolation and characterization of virgin olive oil phenolic compounds by HPLC/UV and GC-MS. *Journal of Food Science* 66:530-534
42. USDA-HealtheTeach SR Search. 2008. National Nutrient Database for Windows. EUA.