



Artículo

Efecto de diferentes métodos de extracción sobre el perfil de ácidos grasos en el aceite de aguacate (*Persea americana* Mill. var. Hass)

Effect of different extraction methods on the fatty acid profile in the avocado
(*Persea americana* Mill. var. Hass) oil

José Alberto **Ariza Ortega**^{1*}, Fernando **López Valdez**¹, Judith **Coyotl Huerta**²,
María Elena **Ramos Cassellis**³, Joel **Díaz Reyes**¹, Arturo **Martínez Zavala**¹

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac-Tepetitla de Lardizábal, km 1.5, Tlaxcala, México.

²Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. Carretera Federal San Martín-Tlaxcala, km 7.5, San Diego Xocoyucan, Tlaxcala, México.

³Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, Departamento de Alimentos. Avenida San Claudio, s/n, Puebla, México.

* Autor para correspondencia: ariza_ortega@yahoo.com.mx

Aceptado 26-October-2011

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la posible formación de ácidos grasos *trans* (AGT) en el aceite de aguacate, extraído con disolvente (hexano), con y sin calor, y por centrifugación. Para analizar el aceite se emplearon índices químicos, y para la identificación y cuantificación de los ácidos grasos se utilizó Espectroscopía de Infrarrojo con Transformada de Fourier (EITF), en la región media de 400 a 4000 cm^{-1} y cromatografía de gases. En los resultados del análisis por EITF se demostró que los tres aceites presentaron un pico definido en la región de 968 cm^{-1} que corresponde a los dobles enlaces *trans*. Los AGT se cuantificaron < 0,5 g/100 g de aceite, valores menores que el propuesto por The Danish Veterinary and Food Administration para considerar un aceite libre de AGT. De acuerdo

con los índices químicos, el método que causó la mínima modificación en la calidad del aceite fue el de extracción por centrifugación.

Palabras claves: aguacate, aceite, ácidos grasos *trans*, cromatografía de gases, espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier, *Persea americana* Mill.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the possible formation of *trans* fatty acid (TFA) in the avocado oil extracted with solvent (hexane) with and without heat, and by centrifugation. In order to analyze the oils, chemical indexes were used, and for the identification and quantification of fatty acids, Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in the mid region of 400 to 4000 cm^{-1} and gas chromatography. From results of the FTIR analysis it was demonstrated that the three extracted oils presented a defined peak at 968 cm^{-1} relates to the double bonds *trans*. TFA were quantified < 0.5 g/100 g of oil, minor values that the proposed limit by The Danish Veterinary and Food Administration to consider a TFA free oil. In agreement with the chemical indexes, the method that caused the smaller modification in the oil quality was extraction by centrifugation.

Key words: avocado, Fourier transform infrared spectroscopy, gas chromatography, oil, *Persea americana* Mill., *trans* fatty acids.

INTRODUCCIÓN

El aguacate, fruto del árbol del mismo nombre (a veces aguacatero), pertenece al género *Persea* de la familia de las Lauráceas. Género formado por 150 especies distribuidas, en las regiones tropicales y subtropicales, especialmente en Asia, Islas Canarias y América, donde existen 80 especies (Bernal-E. y Díaz-D., 2008). Se reconocen 3 razas (término utilizado porque presentan características específicas que se propagan y fijan espontáneamente por semilla) o grupos ecológicos de aguacate: mexicana, guatemalteca y antillana; algunos autores han clasificado cada raza como especies separadas, sin embargo todas se ubican, aceptado por la mayoría, dentro de la especie *Persea americana* Miller (Baíza-Avelar, 2003).

La pulpa de aguacate posee un alto contenido de agua (70 %) (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003). Respecto a los nutrientes presentes en la pulpa destacan los minerales, los aminoácidos

esenciales y algunas vitaminas. En 100 g de pulpa de aguacate se encuentran: potasio 340, fósforo 38, calcio 10, hierro 6,0 y sodio 3,0 mg (Batista-Cerdeño *et al.*, 1993). Contiene siete de los ocho aminoácidos esenciales: valina 63, lisina 59, fenilalanina 48, isoleucina 47, leucina 46, treonina 40 y metionina 29 mg/100 g de pulpa (Ortega-Tovar, 2003). Entre las cantidades significativas de vitaminas liposolubles: vitamina D 10 μg y E 3 μg , e hidrosolubles: vitamina B6 0,4 mg; C 14 mg y B2 0,2 mg; por lo que de forma general todos estos nutrientes proporcionan importantes cantidades porcentuales en los requerimientos diarios de la dieta (Batista-Cerdeño *et al.*, 1993).

La cantidad de lípidos en la pulpa de aguacate es considerable, se han informado valores de 21 % (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003) y 33 % (Ortiz-M. *et al.*, 2004), lo que lo hace una fuente potencial de aceite (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003). El aceite, contiene ácidos grasos saturados (16-22 %) e insaturados (74-83 %), y

dependiendo de la variedad y estado de madurez su concentración varía. La cantidad de ácidos grasos saturados del aceite de aguacate es comparable a la de los aceites de girasol, maíz, soya, maní y oliva (Ratovohery *et al.*, 1988). Por ejemplo, el ácido graso palmítico (C16:0) se encuentra en el aceite de aguacate en un 15,71 % (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003) mientras que en otras especies como semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.) 5-6 % (NM, 1985a), germen de maíz (*Zea mays* L.) 8-12 % (NM, 1985b), semillas de soya (*Glycine max* L.) 9,7-13,3 % (NM, 2005), semillas de cacahuate o maní (*Arachis hypogaea* L.) 6,0-15,5 % (NM, 1985c), canola (semillas pobres en ácido erúxico de las plantas *Brassica napus* o *Brassica campestris*) 2,5-6,0 % (NM, 1985d) y en el aceite de oliva de frutos del árbol de olivo (*Olea europaea* L.) 7,5-20 % (NM, 2006) y 12,3 % en aceite virgen (Andrikopoulos *et al.*, 2002). En cuanto a los ácidos grasos monoinsaturados, las propiedades nutricionales del aceite de aguacate son similares a las del aceite de oliva (Ortiz-M. *et al.*, 2004). El principal ácido graso monoinsaturado es el oleico (C18:1 ó ω -9), encontrándose en cantidades de 60,28 % (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003); siendo uno de los componentes de la mayoría de los aceites vegetales como el de canola y oliva (Ratovohery *et al.*, 1988; ISEO, 1999) con un 50-66 % (NM, 1985d) y 55-83 % (NM, 2006), respectivamente. En aceite virgen de oliva ha sido indicado por Andrikopoulos *et al.* (2002) un valor de 73 % de ácido oleico. Entre los ácidos grasos poliinsaturados, el principal es el ácido graso linoleico (C18:2 ó ω -6) en cantidad de 13,66 % (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003), estando presente en comparación, en el aceite de canola con 18-30 % (NM, 1985d) y en el aceite de oliva 3,5-21 % (NM, 2006), mientras que en aceite virgen 7 % (Andrikopoulos *et al.*, 2002).

Los ácidos grasos de la serie ω -9 y 6 están asociados al ácido linolénico (C18:3 ó ω -3), que es el precursor de los ácidos grasos de la serie ω -3. En la biosíntesis de los ácidos grasos, el ácido ω -6 se modifica por reacciones de desaturación y alargamiento hasta formar el ácido C18:3, y éste a su vez, en el ácido araquidónico (C20:4). El ácido C20:4, es el precursor directo para la síntesis de las prostaglandinas, tromboxanos, ácidos hidroxiperoxicosatetraenoico (HPETE) e hidroxieicosatetraenoico (HETE) y leucotrienos, estos compuestos están relacionados con diversas e importantes funciones biológicas, como son la activación de las plaquetas y leucocitos, estimulan el proceso de coagulación, son constrictores extremadamente potentes de la musculatura lisa, aumentan la permeabilidad vascular, inducen el parto y previenen la úlcera gastroduodenal (Teitelbaum y Walker, 2001). Por otra parte, se ha señalado que el aceite de aguacate presenta el mismo orden de aterogenicidad que el de los aceites de maíz y oliva (Kritchevsky *et al.*, 2003) y desde un punto de vista médico, Alvizouri-Muñoz y Rodríguez-Barrón (2009) expresan que el aceite de aguacate no induce aterosclerosis; el aguacate induce un cambio muy importante en los ácidos grasos del suero, descenso del colesterol total, del colesterol de baja densidad y de los triglicéridos, con aumento del colesterol de alta densidad con cambio relevante del índice aterogénico. La dosis diaria recomendada es de 1 a 2 g por kilogramo de peso y no induce obesidad.

La extracción de los aceites vegetales generalmente se realizaba mediante prensado y posteriormente se introdujo la extracción con disolventes orgánicos para mejorar el rendimiento. Sin embargo, hay informes que indican que la extracción con disolventes gene-

ra una cantidad de ácidos grasos *trans* (AGT), por ejemplo, cuando se extraen con hexano (70 °C) y acetona (55 °C) se forman 0,3 y 0,45 g/100 g de ácidos grasos *trans*, respectivamente (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003).

Un ácido graso *trans* de acuerdo a su configuración espacial, presenta uno o varios átomos de hidrógeno opuestos a la molécula de los átomos de carbono que forman los dobles enlaces. Debido a lo anterior, el ángulo del doble enlace es más pequeño y la cadena de acilo es más lineal, lo que da como resultado una molécula rígida y recta, con un punto de fusión más elevado. En la configuración *cis*, los átomos de hidrógeno están en el mismo lado de la cadena de carbono, dando lugar a un pliegue en la cadena de acilo que origina un ángulo de 30°, que permite a la molécula ser más flexible (Allen *et al.*, 1982). A los efectos de las Directrices del Codex sobre Etiquetado Nutricional y otras normas y directrices afines del Codex, se define como ácidos grasos *trans* todos los isómeros geométricos de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados que poseen en la configuración *trans* dobles enlaces carbono-carbono no conjugados interrumpidos al menos por un grupo de metileno (-CH₂-CH₂-) (FAO/OMS, 2004).

Los AGT consumidos en grandes cantidades originan problemas circulatorios y de obesidad al incrementar el colesterol en la sangre (Abbey y Nestel, 1994), debido a que aumentan las lipoproteínas de baja densidad (LDL, 'low density lipoproteins') en un grado similar al de las grasas saturadas (Mensink y Katan, 1990), por el descenso de la regulación del receptor de LDL (Hayashi *et al.*, 1993). Por tal motivo, en Europa (FAO/OMS, 2004) y Estados Unidos (FDA, 2003; Moss, 2006) se ha regulado el contenido de estos compuestos en los alimentos. En Dinamarca, The Danish Veterinary and Food Administration ha regulado en productos que declaran ser 'libre de ácidos grasos *trans*' ('free from *trans* fatty acids'), que el contenido de AGT en el producto final debe ser menor a 1 g/100 g del aceite o

grasa individuales (Stender y Dyerberg, 2003) y en Estados Unidos menor a 0,5 g por porción en los datos de nutrición ('Nutrition Facts') (FDA, 2003). Asimismo, consulta conjunta de expertos OMS/FAO sobre dieta, nutrición y la prevención de enfermedades crónicas recomendó que, para promover la salud cardiovascular, la alimentación debería aportar una ingesta muy baja de TFA ('*trans* fatty acid') (menos del 1 % de la ingesta energética diaria) (OMS, 2003).

El objetivo de este estudio fue evaluar la posible formación de ácidos grasos *trans* (AGT) en el aceite de aguacate, extraído con disolvente (hexano), con y sin calor, y por centrifugación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizaron 10 aguacates (*Persea americana* Mill. var. Hass) adquiridos en un supermercado local en el Estado de Puebla, México. Los frutos fueron seleccionados por madurez comercial, posteriormente se lavaron y eliminó el epicarpio y semilla manualmente. Para la caracterización bromatológica de la pulpa de aguacate obtenida se realizaron análisis de humedad, proteína, lípidos, fibra cruda, cenizas y carbohidratos (por diferencia) mediante normativas de la AOAC (2006). Cada análisis se realizó por triplicado.

Extracción del aceite de aguacate

Para la extracción de los aceites, la pulpa se homogenizó en una batidora Braun MultiPractic Food Processor. La pulpa homogenizada se depositó dentro de placas de Petri de vidrio, y se extendió uniformemente hasta formar una película delgada. Posteriormente, las placas con las muestras se colocaron dentro de una estufa Memmert (modelo ICP-400) con vacío, a temperatura de 70 °C durante 2 minutos, para que la pulpa se deshidratara hasta una humedad de 10 %, y lue-

go se llevó a cabo la extracción del aceite por 3 métodos: utilizando disolvente (hexano) con y sin calor, y por centrifugación, como se describe a continuación:

Extracción con disolvente (hexano) a temperatura ambiental

La extracción del aceite de aguacate con disolvente sin la aplicación de calor se realizó por maceración. Se depositaron 100 g de pulpa de aguacate dentro de un frasco con disolvente, se cerró herméticamente y se dejó reposar durante 24 horas. El ensayo se realizó por triplicado.

Extracción con disolvente (hexano) a temperatura de 70 °C

La extracción del aceite de aguacate con disolvente y aplicación de calor se llevó a cabo mediante el método de extracción Soxhlet, 963.15 de la AOAC (2006) a 70 °C durante 4 h.

Extracción por centrifugación

En la extracción del aceite de aguacate por centrifugación se utilizaron 100 g de pulpa. Se empleó una centrifuga marca Eppendorf, modelo 5804 R (Eppendorf A. G., Hamburg, Germany). Para la extracción del aceite se realizaron diversos ensayos variando la fuerza centrífuga, temperatura y tiempo. Se determinó que el mejor método de extracción fue a 15557 g, durante 10 minutos a 40 °C.

Caracterización del aceite de aguacate

El aceite de aguacate se caracterizó por medio de los siguientes análisis: índice de acidez (NM, 1987a), índice de peróxido, (NM, 1987b) e índice de yodo (NM, 1981). Los análisis se realizaron por triplicado.

Análisis por Espectroscopía de Infrarrojo con Transformada de Fourier (EITF)

La identificación de los AGT en los aceites se obtuvo mediante comparación con un estándar del ácido eláidico (C18:1t) grado cromatográfico (Sigma-Aldrich®, Co. LLC, St. Louis, Missouri, USA). Para el análisis espectroscópico de los aceites de aguacate se empleó espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (EITF), en el modo de medición de reflectancia total atenuada (ATR, 'Attenuated Total Reflectance'), utilizando un espectrómetro marca Bruker, modelo Vertex 70 (Bruker Optics - Bruker Corporation, Billerica, Massachusetts, USA). Se depositaron 20 µL de aceite en el cristal del equipo y se tomó el disolvente hexano como línea base para el aceite de aguacate obtenido bajo el mismo disolvente, y para el aceite centrifugado se tomó el aire como línea base. Se utilizó un tiempo de integración de 60 segundos (1 segundo por barrido) realizándose automáticamente el promedio de las señales. La región de medición fue el mediano infrarrojo (400-4000 cm⁻¹) con una resolución de 4 cm⁻¹. La adquisición y procesamiento de los datos se realizó con el programa OPUS, versión 6.0 (Bruker Optics, USA).

Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases

El contenido de ácidos grasos, se calculó como el porcentaje de los ésteres metílicos totales obtenidos por cromatografía de gases con un cromatógrafo HP-5890 (Hewlett-Packard Company, Palo Alto, California, USA) equipado con un detector de ionización de flama. Los ésteres metílicos de ácidos grasos se prepararon añadiendo 20 mL de metanol y 0,5 mL de KOH metanólico (1,0 N) al aceite y la solución se colocó en reflujo a 60 °C durante 15 minutos. Los ésteres metílicos se extrajeron con 10 mL de heptano y se añadió 10 mL de agua

destilada, las dos fases se separaron. El residuo fue solubilizado en heptano (IUPAC, 1979). Se tomaron 2 μL de los ésteres metílicos de ácidos grasos y se inyectaron en una columna cromatográfica Rt®-2560 (100 m x 0,25 mm d.i. x 0,20 μm) de soporte de sílice fundido de biscianopropil polisiloxano (Restek Corporation, Bellefonte, Pennsylvania, USA). El inyector y el detector se mantuvieron a 230 y 250 °C respectivamente. El gas portador fue nitrógeno 1,2 mL/min, con un sistema de inyección de división (20:2). Para calibrar el sistema de cromatografía de gases para los análisis, se utilizó la mezcla de ésteres metílicos con 37 componentes Food Industry FAME Mix (Restek Corporation, USA).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANAVAR) y se compararon las medias de los tratamientos de los índices químicos, y de los ésteres metílicos de los ácidos grasos obtenidos por los tres métodos de extracción propuestos, a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ con el programa Statistical Analysis System, versión 6.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la pulpa y el aceite de aguacate

El resultado del análisis bromatológico de la pulpa de aguacate (en base húmeda) se muestra en la primera columna del Cuadro 1, en comparación con valores informados en la literatura por Bora *et al.* (2001) y Ortiz-Moreno *et al.* (2003).

Los lípidos, luego de la humedad fueron los componentes mayoritarios en la pulpa del aguacate, con valores similares a los informados por los autores para la misma variedad en estudio y la variedad 'Fuerte'. Ortiz-Moreno *et al.* (2003) han señalado que durante la fase de maduración del aguacate, se

considera maduro cuando presentan un contenido mínimo de lípidos en la pulpa de 15 %. Por lo que, los frutos seleccionados y utilizados para este estudio, pueden ser considerados maduros. Con respecto a la proteína, fibra, cenizas y carbohidratos, estuvieron presentes en pequeñas cantidades, con pocas variaciones en su concentración, lo que es dependiente de la zona de cultivo, condiciones de crecimiento, tiempo de recolección y almacenamiento; factores que proporcionan características únicas para cada variedad (Gaydou *et al.*, 1987).

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de los índices determinados en los aceites de aguacate extraídos en pulpa mediante los 3 métodos. El índice de acidez, es una medida de la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite (Allen *et al.*, 1982; NM, 1987a; Matissek *et al.*, 1998). El aceite que se extrajo con disolvente y calor presentó mayor índice de acidez ($p < 0,05$) que los extraídos con disolvente sin calor y por centrifugación, entre estos últimos no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$). No obstante, los valores para los tres métodos propuestos se encuentran dentro del intervalo constituido de 0,65 % de ácido oleico indicado por Ortiz-Moreno *et al.* (2003) y el especificado, como máximo, por la Norma Mexicana NMX-F-052-SCFI-2008 para el aceite de aguacate con 1,5 % de ácido oleico (NM, 2008).

El índice de peróxido determina el contenido de hidroperóxidos y ofrece una medida de la oxidación de los ácidos grasos insaturados (Allen *et al.*, 1982; NM, 1987b; Matissek *et al.*, 1998). En las muestras estudiadas, el aceite extraído de la pulpa de aguacate con hexano y calor presentó mayor índice ($p < 0,05$) en comparación con los aceites obtenidos con hexano sin calor y por centrifugación, entre estos últimos no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$). La Norma Mexicana NMX-F-052-SCFI-2008 para el aceite de aguacate establece un valor máximo de 10 meq O_2/kg de aceite (NM, 2008), por lo

Cuadro 1.- Caracterización y comparación de la pulpa de aguacate con otras variedades.

Determinaciones (%)	Variedades		
	Hass	'Fuerte'*	Hass**
Humedad	73,8 ± 3,10	78,24	77,3
Proteína	1,4 ± 0,02	1,01	1,6
Lípidos	15,3 ± 2,20	15,39	15,8
Fibra	0,51 ± 0,01	0,53	0,4
Cenizas	1,5 ± 0,02	0,66	1,3
Carbohidratos	7,49 ± 1,20	4,17	5,6

* Cultivado en Brasil (Bora *et al.*, 2001).

**Cultivado en México (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003).

Cuadro 2.- Caracterización de los aceites de aguacate extraídos en pulpa por los 3 métodos.

Índices	Hexano sin calor	Hexano con calor	Centrifugación*
Acidez (% de ácido oleico)	0,86 ± 0,02 ^a	1,29 ± 0,02 ^b	0,75 ± 0,05 ^a
Peróxido (meq O ₂ /kg de aceite)	2,31 ± 0,11 ^a	3,79 ± 0,04 ^b	2,46 ± 0,03 ^a
Yodo (cg I ₂ /g)	82,12 ± 0,06 ^a	84,65 ± 0,09 ^b	86,67 ± 2,14 ^c

* Fuerza centrífuga 15557 g, tiempo 10 minutos, temperatura 40 °C.

Los valores son promedios de 3 repeticiones ± su desviación estándar.

Letras iguales en superíndices en una misma fila, indican que no hubo diferencia significativa.

que todos los valores están por debajo de la especificación. De igual manera estos valores fueron menores en comparación al valor publicado por Ortiz-Moreno *et al.* (2003) de 10,68 meq O₂/kg de aceite para la misma variedad. Los aceites presentaron un mínimo de oxidación de sus ácidos grasos insaturados.

El índice de yodo es una medida directa de la cantidad de dobles enlaces (Allen *et al.*, 1982; NM, 1981; Matissek *et al.*, 1998). Los valores de índice de yodo de los aceites de aguacate extraídos por los 3 métodos fueron significativamente diferentes entre si ($p < 0,05$). Los índices fueron similares al determinado por

Ortiz-Moreno *et al.* (2003) de 82,1 cg I₂/g y solo el del aceite extraído por centrifugación (86,67 ± 2,14 cg I₂/g) se encontró dentro del intervalo especificado en la Norma Mexicana NMX-F-052-SCFI-2008 (85-90 cg I₂/g) (NM, 2008).

Comparando los 3 métodos de extracción el mejor fue por centrifugación, ya que el aceite mantuvo su color verde característico, hubo un mínimo de formación de ácidos grasos libres y baja oxidación de los ácidos grasos insaturados. Sin embargo, su rendimiento fue 38,3 %; menor en comparación con los aceites extraídos con disolvente con y

sin calor (78 y 58 % de aceite, respectivamente). Aunque el rendimiento fue bajo, uno de los propósitos del estudio fue determinar mediante cual método los AGT se encontrarían en menores concentraciones.

Análisis por espectroscopía de infrarrojo y cromatografía de gases

Para facilitar el análisis de los aceites de aguacate extraídos con hexano, con y sin calor, y por centrifugación por espectroscopia de infrarrojo, se analizó primeramente un estándar del ácido graso elaídico (C18:1t), para identificar las bandas de absorción característi-

cas al enlace *trans*. En la Fig. 1 se muestra el espectro del ácido elaídico. Se observan las principales regiones de los grupos funcionales y los dobles enlaces del estándar, por ejemplo, las bandas a 723 y 968 cm^{-1} corresponden a los dobles enlaces *cis* y *trans* ($-\text{HC}=\text{CH}-$) con un modo de vibración de flexión, respectivamente. Las regiones de 1033-1163 y 1600 cm^{-1} corresponden al grupo funcional carboxilo del éster de los triacilglicéridos con un modo de vibración simétrico ($-\text{HC}=\text{O}$). En las bandas de 1430 y 1470, 2925 y 2950 cm^{-1} se encuentran los grupos funcionales metileno ($-\text{CH}_2-$) y metilo ($-\text{CH}_3-$) con un modo de vibración asimétrica (Guillén y Cabo, 1998; Coates, 2000).

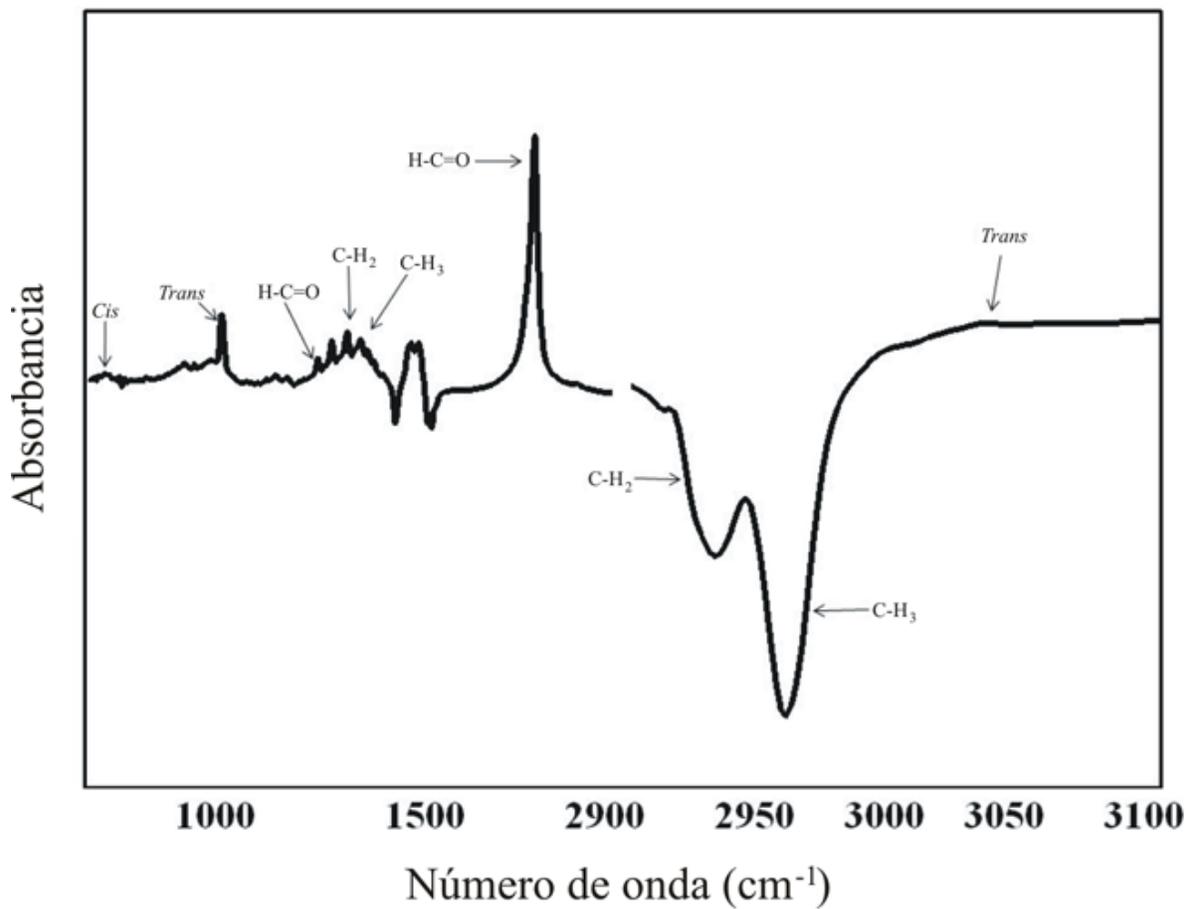


Figura 1.- Espectro de Infrarrojo con Transformada de Fourier del estándar del ácido graso elaídico (18:1t).

Comparando los espectros de los diferentes aceites de aguacate con las bandas de absorción del estándar (Fig. 2) se observa que se identifican bandas de absorción encontradas en el estándar, que además presentan una similitud a los grupos funcionales y dobles enlaces debido a su composición química, que origina picos característicos de los diversos aceites vegetales comestibles (Guillén y Cabo, 1998), grasas (Guillén y Cabo, 1998; Ariza-Ortega *et al.*, 2010a) y con aceites de aguacate de otras variedades, por ejemplo, Criollo y 'Fuerte' (Ariza-Ortega *et al.*, 2010b). Diversos investigadores han informado que en las regiones de 1654, 1743-1750 y 3500-3550 cm^{-1} se determina la calidad e identidad de un aceite o grasa, ya que son indicativos de los dobles enlaces *cis*, ácidos grasos libres y oxidación de los ácidos grasos insaturados respectivamente (Guillén y Cabo, 1998; Ariza-Ortega *et al.*, 2010a, Ariza-Ortega *et al.*, 2010b).

Analizando estas regiones en los aceites de aguacate extraídos por los tres métodos propuestos, en el pico a 1654 cm^{-1} que corresponde a los dobles enlaces *cis*, se puede observar que no hay un cambio espectral en la intensidad en las bandas en los tres aceites analizados. Si se relacionan estos resultados con los obtenidos en el índice de yodo (Cuadro 2), se corrobora que los aceites no presentan modificaciones estadísticamente significativas y presentan ácidos grasos insaturados semejantes al aceite de oliva virgen, por encontrarse los valores dentro del intervalo de índice de yodo de 75-94 $\text{cg I}_2/\text{g}$ de la normativa (FAO/OMS, 1981).

En la región espectral de 1743-1750 cm^{-1} , que corresponde al grupo funcional carboxilo del éster de los triacilglicéridos, las bandas no presentaron cambios o desplazamientos. Al comparar estos resultados con el índice químico de acidez, se confirma que los aceites contienen un mínimo de formación de ácidos grasos libres. En un trabajo relacionado, llevado a cabo por Ariza-Ortega *et al.* (2010b) con aceites de aguacate de las varie-

dades Hass, Criollo y 'Fuerte', extraídos por centrifugación (15557 g, durante 10 minutos a 40 °C) y con hexano (70 °C/4 h) y analizados por EITF, los autores observaron que el aceite de aguacate de la variedad 'Fuerte' presentó un pico ancho y un desplazamiento ligero del pico hacia la escala del número de onda bajo, en comparación a los demás aceites y concluyeron que este efecto fue debido a la formación de los ácidos grasos libres. Por otro lado, Li *et al.* (2008) estudiaron la degradación de los triacilglicéridos en los aceites de oliva virgen, observando un incremento en la intensidad en 1726-1748 cm^{-1} por la formación de estos compuestos.

En la Fig. 2 se puede observar que los tres aceites presentaron una banda en la región de 3500 cm^{-1} relacionada al grupo funcional carboxilo. El aceite extraído con hexano con calor presentó una ligera intensidad en comparación a los otros dos aceites. Además, si se comparan los resultados de EITF con el análisis del índice de peróxido, se corrobora que el aceite de aguacate extraído con hexano con aplicación de calor, incrementó la oxidación de los ácidos grasos insaturados. En un estudio realizado por Guillén y Cabo (2000) con EITF en un aceite de girasol sometido a oxidación a 70 °C con aireación, observaron que a medida que aumenta el grado de oxidación del aceite, la banda cercana a 3471 cm^{-1} se ensancha e intensifica. Esto se debe a la superposición de las bandas originales con nuevas absorciones causadas por los hidroperóxidos generados en el proceso de oxidación. Por lo tanto, los aceites estudiados en este trabajo, extraídos por los tres métodos propuestos, presentan un mínimo de oxidación de sus ácidos grasos insaturados.

Por otro parte, con respecto a los dobles enlaces *trans*, en las muestras no se identificó a estos compuestos en la región de 3010, 3040 y 3050-3060 cm^{-1} como lo informaron Guillén y Cabo (1998), Coates (2000) y Ariza-Ortega *et al.* (2010a), respectivamente, y solo fueron detectados en la región de 968 cm^{-1} , sin

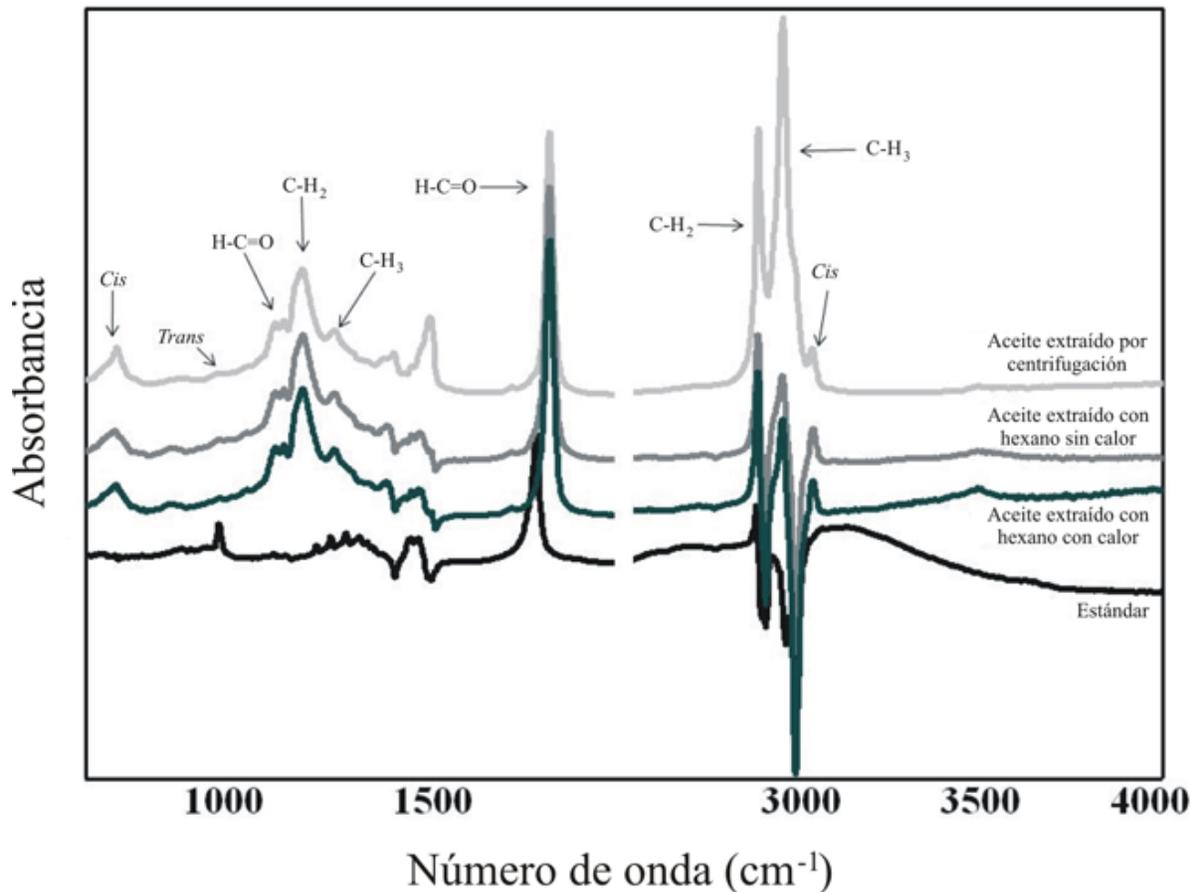


Figura 2.- Espectros de Infrarrojo con Transformada de Fourier de los aceites de aguacate.

embargo, esta intensidad es mínima en comparación a los dobles enlaces *cis* a 723 cm^{-1} , por lo que se puede inferir que los métodos de extracción propuestos generan esa intensidad, o que los isómeros *trans* ya estaban presentes antes de los tratamientos. Brühl (1996) comparó diversos aceites obtenidos por prensado en frío con aceites refinados, de semillas. Las semillas de los aceites fueron recolectadas a diferentes latitudes en Alemania y todas contenían ácidos grasos *trans*; observando que los niveles de estos eran bajos en los aceites obtenidos por prensado en frío, pero aumentaban con el secado de las semillas, presumiblemente por la destrucción de los hidroperóxidos.

En relación a los análisis por cromatografía de gases para confirmar los resultados obtenidos por espectroscopia de infrarrojo, en el Cuadro 3 se muestran los resultados de los análisis de los ésteres metílicos de ácidos grasos de los aceites de aguacate.

Los ésteres metílicos de los ácidos grasos saturados, que se cuantificaron en los tres aceites fueron el palmitato de metilo (C16:0), estearato de metilo (C18:0) y araquidato de metilo (C20:0), los 2 últimos en menor concentración. Los ésteres metílicos de los ácidos grasos insaturados que se cuantificaron en mayor concentración fueron especialmente el oleato de metilo (18:1 *cis*-9) y

Cuadro 3.- Resultados porcentuales (%) de los ésteres metílicos de los ácidos grasos (EM-AGs) de los aceites de aguacate.

EM-AGs	Aceite extraído con hexano sin calor	Aceite extraído con hexano y calor	Aceite extraído por centrifugación*	Aceite de aguacate**
C16:0	15,00 ± 1,10 ^a	15,10 ± 1,10 ^a	15,06 ± 1,20 ^a	15,71
C16:1	7,80 ± 0,70 ^a	7,89 ± 0,80 ^a	7,80 ± 0,60 ^a	7,26
C18:0	0,75 ± 0,01 ^a	0,77 ± 0,01 ^a	0,70 ± 0,04 ^a	0,72
C18:1t	0,10 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,01 ^a	0,30
C18:1	60,10 ± 2,10 ^a	60,30 ± 1,40 ^a	60,60 ± 1,20 ^a	60,28
C18:2t	0,20 ± 0,01 ^a	0,31 ± 0,01 ^b	-	0,04
C18:2	13,30 ± 1,20 ^a	13,20 ± 1,10 ^a	13,30 ± 1,30 ^a	13,66
C18:3	1,46 ± 0,01 ^a	1,40 ± 0,01 ^a	1,40 ± 0,07 ^a	1,44
C20:0	0,10 ± 0,01 ^a	0,17 ± 0,02 ^a	0,10 ± 0,01 ^a	-
C20:1	0,20 ± 0,01 ^a	0,27 ± 0,02 ^a	0,20 ± 0,01 ^a	0,21
C20:2	0,40 ± 0,05 ^a	0,43 ± 0,03 ^a	0,48 ± 0,08 ^a	0,11

* Fuerza centrífuga 15557 g, tiempo 10 minutos, temperatura 40 °C.

** Variedad Hass, extraído con hexano y calor a 70 °C durante 4 h (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003).

Los valores son promedios de 3 repeticiones ± su desviación estándar.

Letras iguales en superíndices en una misma fila, indican que no hubo diferencia significativa.

linoleato de metilo (18:2 *cis*-9,12). Se puede observar que todos los valores obtenidos fueron similares a los informados por Ortiz-Moreno *et al.* (2003). El aceite de aguacate debido a su contenido de ácidos grasos insaturados, como el ácido oleico, puede mejorar el perfil lipídico en pacientes con hipercolesterolemia moderada (Carranza *et al.*, 1995; López-Ledesma *et al.*, 1996) y disminuir los triacilglicéridos (Anderson-Vázquez, *et al.*, 2009).

En los tres aceites de aguacate no se encontraron diferencias significativas en el contenido de los ésteres metílicos de las muestras ($p > 0,05$), pero sí, en los ésteres metílicos de los AGT ($p < 0,05$) en la concentración del linoelaidato de metilo (C18:2t *trans*-9,12). En el trabajo desarrollado por Ortiz-Moreno *et al.* (2003), en la extracción

del aceite de aguacate con disolvente hexano (a 70 °C durante 4 horas) cuantificaron 0,30 % de elaidato de metilo (C18:1t *trans*-9) y para C18:2t 0,04 %. Con el método de centrifugación propuesto en este trabajo, se obtuvo una menor cantidad de C18:1t y para C18:2t no se obtuvo, pero para los aceites extraídos con hexano sin y con calor los contenidos de C18:2t fueron mayores al presentado por los autores. La cuantificación de los AGT en los tres aceites fue $< 0,5$ g/100 g de aceite, por lo que cumplen con la normativa establecida por The Danish Veterinary and Food Administration de 1 g/100 g de aceite para considerar a un producto 'libre de ácidos grasos *trans*' (Stender y Dyerberg, 2003). Por lo anterior, el aceite de aguacate se puede considerar libre de AGT.

CONCLUSIONES

El mejor método para la extracción del aceite de aguacate fue por centrifugación, mediante el cual se mantuvo su color verde característico, hubo un mínimo de formación de ácidos grasos libres y baja oxidación de los ácidos grasos insaturados, aunque su rendimiento fue menor, lo que descarta la necesidad de un disolvente para extraerlo. La cromatografía de gases y espectroscopía de infrarrojo confirmó la presencia de isómeros *trans* en bajas concentraciones que cumplen la normativa danesa para productos ‘libres de ácidos grasos *trans*’.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbey, Mavis and Nestel, Paul J. 1994. Plasma cholesteryl ester transfer protein activity is increased when *trans*-elaidic acid is substituted for *cis*-oleic acid in the diet. *Atherosclerosis*. 106(1):99-107.
- Allen, Robert R.; Formo, Marvin W.; Krishnamurthy, R.G.; McDermott, G.N.; Norris, Frank A. and Sonntag, Norman O.V. 1982. Physical properties of fats and fatty acids. In *Bailey's industrial oil and fat products*. (pp. 666-679). New York, USA: John Wiley & Sons.
- Alvizouri-Muñoz, Mario y Rodríguez-Barrón, Alvaro. 2009. Efectos médicos del aguacate. *Medicina Interna de México*. 25(5):379-385.
- Anderson-Vázquez, Hazel Ester; Cabrera, Soraly; Lozano, Rosa, González-Inciarte, Luisandra Coromoto. 2009. Efecto del consumo de aguacate (*Persea Americana* Mill.) sobre el perfil lipídico en adultos con dislipidemia. *Anales Venezolanos de Nutrición*. 22(2):84-89.
- Andrikopoulos, Nikolaos K.; Kalogeropoulos, Nick; Falirea, Angeliki and Barbagianni, Maria N. 2002. Performance of virgin olive oil and vegetable shortening during domestic deep-frying and pan-frying of potatoes. *International Journal of Food Science & Technology*. 37(2):177-190.
- AOAC. 2006. Association of Official Analytical Chemist. *Official Methods of Analysis*. (25ta. ed.). Washington, USA.
- Ariza-Ortega, José Alberto; Díaz-Reyes, Joel; Robles de la Torre, Raúl René and Delgado-Macuil, Raúl Jacobo. 2010a. Analysis spectroscopic by Fourier transform infrared of butter made from vegetable oil and pure cow milk subjected at thermo-oxidation processes. *Journal of Materials Science and Engineering*. 4(6):32-35.
- Ariza-Ortega, José Alberto; Méndez-Ramos, María Guadalupe; Díaz-Reyes, Joel; Delgado-Macuil, Raúl Jacobo and Robles de la Torre, Raúl René. 2010b. Study by Fourier transform infrared spectroscopy of the avocado oils varieties Hass, Criollo and Fuerte. *Journal of Materials Science and Engineering*. 4(5):61-64.
- Baíza-Avelar, Vladimir Humberto. 2003. Guía técnica del cultivo de aguacate. Programa Nacional de Frutas de El Salvador (FRUTAL ES). El Salvador: Editorial Maya.
- Batista-Cerdeño, Aida Rosa; Cerezal-Mezquita, Pedro y Fung-Lay V. 1993. El aguacate (*Persea americana*, M.). 1. Valor nutricional y composición. *Alimentaria*. 247:63-69.
- Bernal-E., Jorge A. y Díaz-D., Cipriano A. 2008. Generalidades del cultivo. En *Tecnología para el cultivo del aguacate* (pp. 11-83). Manual Técnico 5. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia.
- Bora, Pushkar S.; Narain, Narendra; Rocha, Rosalynd V.M. and Queiroz-Paulo, Marçal. 2001. Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits. *Grasas y Aceites*. 52(3-4):171-174.

- Brühl, Ludger. 1996. Determination of *trans* fatty acids in cold pressed oils and in dried seeds. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 98(11):380-383.
- Carranza, J.; Alvizouri, M.; Alvarado, M. R.; Chávez, F.; Gomez, M. y Herrera, J.E. 1995. Effects of avocado on the level of blood lipids in patients with phenotype II and IV dyslipidemias. *Archivos del Instituto de Cardiología de México*. 65(4):342-348.
- Coates, John. 2000. Interpretation of infrared spectra, a practical approach. In *Encyclopedia of analytical chemistry*. (pp. 10815-10837). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- FAO/OMS. 2004. Food and Agriculture Organization of the United Nations-Organización Mundial de la Salud. Documento de debate sobre una definición de ácidos grasos *trans*. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias (Tema 10 del programa). Comité del Codex sobre nutrición y alimentos para regímenes especiales, 26^a reunión. Bonn, Alemania, 1-5 de noviembre de 2004. Elaborado por Malasia y Dinamarca. CX/NFSDU 04/11.
- FAO/OMS. 1981. Food and Agriculture Organization of the United Nations-Organización Mundial de la Salud. Norma para los aceites de oliva y aceites de orujo de oliva. CODEX STAN 33-1981.
- FDA. 2003. U. S. Food and Drug Administration. Food labeling; *trans* fatty acids in nutrition labeling; consumer research to consider nutrient content and health claims and possible footnote or disclosure statements; final rule and proposed rule. *Federal Register* - 68 FR 41433 July 11, 2003 (Volume 68, Number 133). Rules and Regulations. 41433-41506. <http://www.fda.gov/food/labelingnutrition/labelclaims/nutrientcontentclaims/ucm110179.htm>
- Gaydou, Emile M.; Lozano, Yves and Ratovohery, Julie. 1987. Triglyceride and fatty acid compositions in the mesocarp of *Persea americana* during fruit development. *Phytochemistry*. 26(6):1595-1597.
- Guillén, María D. and Cabo, Nerea. 1998. Relationships between the composition of edible oils and lard and the ratio of the absorbance of specific bands of their Fourier transform infrared spectra. Role of some bands of the fingerprint region. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46(5):1788-1793.
- Guillén, María D and Cabo, Nerea. 2000. Some of the most significant changes in the Fourier transform infrared spectra of edible oils under oxidative conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80(14):2028-2036.
- Hayashi, Kozo; Hirata, Yasuhiko; Kurushima, Hitoshi; Saeki, Masayumi; Amioka, Hiroshi; Nomura, Shuichi; Kuga, Yoshio; Ohkura, Yoshifumi *et al.* 1993. Effect of dietary hydrogenated corn oil (*trans*-octadecenoate rich oil) on plasma and hepatic cholesterol metabolism in the hamster. *Atherosclerosis*. 99(1):97-106.
- ISEO. 1999. Institute of Shortening and Edible Oils. *Food fat and oils*. (8th ed.). Washington D. C., USA: Institute of Shortening and Edible Oils, Inc.
- IUPAC. 1979. International Union of Pure and Applied Chemistry. *Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives*. (6th. ed.). London, UK: Blackwell Scientific Publications. pp. 97-98.
- Kritchevsky, David; Tepper, Shirley A.; Wright, Scott; Czarnecki, Susanne K.; Wilson, Thomas, A. and Nicolosi, Robert J. 2003. Cholesterol vehicle in experimental atherosclerosis 24: avocado oil. *Journal of the American College of Nutrition*. 22(1):52-55.
- López-Ledesma, R.; Frati-Munari, A.C.; Hernández-Domínguez, B.C.; Cervantes-

- Montalvo S.; Hernandez-Luna, M.H.; Juárez, C. and Moran-Lira, S. 1996. Monounsaturated fatty acid (avocado) rich diet for mild hypercholesterolemia. *Archives of Medical Research*. 27(4):519-523.
- Matissek, Reinhard; Schnepel, Frank M. y Steiner, Gabriele. 1998. Análisis de los alimentos: fundamentos, métodos, aplicaciones. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S. A. pp. 297-302.
- Mensink, Ronald P. and Katan, Martijn B. 1990. Effect of dietary *trans* fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects. *The New England Journal of Medicine*. 323(7):439-445.
- Moss, Julie. 2006. Labeling of *trans* fatty acid content in food, regulations and limits-the FDA view. *Atherosclerosis Supplements*. 7(2):57-59.
- NM. 1981. Norma Mexicana NMX-F-152-S-1981. Alimentos para humanos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de yodo por el método de Wijs.
- NM. 1985a. Norma Mexicana NMX-F-265-1985. Alimentos - Aceite comestible puro de girasol.
- NM. 1985b. Norma Mexicana NMX-F-030-1985. Alimentos - Aceite comestible puro de maíz.
- NM. 1985c. Norma Mexicana NMX-F-027-1985. Alimentos - Aceite comestible puro de cacahuete.
- NM. 1985d. Norma Mexicana NMX-F-475-1985. Alimentos para humanos - Aceite comestible puro de canola.
- NM. 1987a. Norma Mexicana NMX-F-101-1987. Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de acidez.
- NM. 1987b. Norma Mexicana NMX-F-154-1987. Alimentos. Aceites y grasas vegetales o animales. Determinación del índice de peróxido.
- NM. 2005. Norma Mexicana NMX-F-252-SCFI-2005. Alimentos - Aceite comestible puro de soya - Especificaciones.
- NM. 2006. Norma Mexicana NMX-F-109-SCFI-2006. Alimentos - Aceite de oliva - Especificaciones.
- NM. 2008. Norma Mexicana NMX-F-052-SCFI-2008. Aceites y grasas - aceite de aguacate - especificaciones.
- OMS. 2003. Organización Mundial de la Salud. Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas. Serie de informes técnicos. 916. Informe de una consulta mixta de expertos OMS/FAO. Ginebra.
- Ortega-Tovar, Miguel Ángel. 2003. Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate Hass. In *Proceedings of V World Avocado Congress*. 19-24 Octubre. (pp. 741-748). Granada-Málaga, España.
- Ortiz-M., Alicia; Dorantes-A., Lidia; Galíndez-M., Juvencio and Cárdenas-S., Elizabeth. 2004. Effect of a novel oil extraction method on avocado (*Persea americana* Mill.) pulp microstructure. *Plant Foods for Human Nutrition*. 59(1):11-14.
- Ortiz-Moreno Alicia; Dorantes, Lidia; Galíndez, Juvencio and Guzmán, Rosa I. 2003. Effect of different extraction 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.
- Ratovohery, Julie V.; Lozano, Yves F. and Gaydou, Emile M. 1988. Fruit development effect on fatty acid composition of *Persea americana* fruit mesocarp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 36(2):287-293.
- Stender, Steen and Dyerberg, Jørn. 2003. The influence of *trans* fatty acids on health. (4th ed.). A report from the Danish Nutrition Council. Publication N° 34. ISSN 0909-9859.
- Teitelbaum, Jonathan E. and Walker, Allan W. 2001. Review: the role of omega 3 fatty acids in intestinal inflammation. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 12(1):21-32.
- Li, Yue; García-González, Diego L.; Yu, Xiuzhu and van de Voort, Frederik R. 2008. Determination of free fatty acids in edible oils with the use of a variable filter array IR Spectrometer. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 85(7):599-604.