

EFFECTO DEL CAMPO ELÉCTRICO SOBRE EL ACEITE DE AGUACATE ALMACENADO A VARIOS TIEMPOS

EFFECT OF THE ELECTRIC FIELD ON THE AVOCADO OIL STORED AT DIFFERENT TIMES

José Alberto Ariza-Ortega^{1*}; Raúl Jacobo Delgado-Macuil¹; Raúl René Robles-de-la-Torre¹; Fernando López-Valdés¹; Judith Coyotl-Huerta²; María Elena Ramos-Cassellis³; Ana Soriano-Morales⁴

¹Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional. Carretera Estatal Santa Inés Tecuexcomac, km 1.5 Tepetitla, Tlaxcala. C. P. 90700, MÉXICO. ²Departamento de Alimentos, Instituto Tecnológico del Altiplano Tlaxcala. Carretera Federal San Martín-Tlaxcala, km 7.5 San Diego Xocoyucan, C. P. 90700, MÉXICO.

³Facultad de Ingeniería Química, Colegio de Ingeniería de Alimentos. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Avenida San Claudio Boulevard 18 Sur San Manuel.

⁴Laboratorio Químico, Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios Núm. 104. Constituyentes Núm. 30. José María Pino Suárez. MÉXICO. Correo-e: ariza_ortega@yahoo.com.mx (*Autor para correspondencia).

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del aceite de aguacate y la posible formación de isómeros *trans* cuando es expuesto al campo eléctrico (CE) y almacenado a varios tiempos. Para el análisis de los aceites se emplearon índices químicos (acidez, yodo y peróxido). Para la identificación de los isómeros *trans* se empleó espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (EITF) en la región de 400-4000 cm^{-1} . Para determinar el efecto del CE (voltaje 9 kV cm^{-1} , frecuencia 720 Hz y un tiempo de exposición de 3 minutos) en los aceites se usaron dos estrategias: el aceite fue tratado directamente al CE (Aceite 1), en la segunda, la pulpa de aguacate se expuso al CE y se extrajo el aceite (Aceite 2). El aceite tratado con CE se depositó dentro de un envase cerrado y fue almacenado a temperatura ambiente dentro de una caja (4, 13, 28, 90 y 365 días). De acuerdo a los índices químicos, los aceites presentaron un mínimo de formación de ácidos grasos libres y no afectó significativamente a los ácidos grasos insaturados que se corroboró con la EITF, y se identificó a los dobles enlaces *trans* en todas las muestras estudiadas en la región de 968 cm^{-1} , con un promedio de la altura del pico de 0.2 mm.

Palabras clave adicionales: Aceite, ácidos grasos *trans*, aguacate, campo eléctrico, espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier, índices químicos.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the quality and the possible formation of *trans* fatty acid (TFA) in avocado oil, when it is exposed to electric field (EF) and stored at different times. In order to analyze the oils, chemical values (acidity, iodine and peroxide) were used, and for the identification of TFA, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) in the mid region of 400-4000 cm^{-1} was used. For the study of the effect of the EF (voltage 9 kV cm^{-1} , frequency 720 Hz and an exposure time of 3 minutes) two strategies were utilized, first the oil was extracted and then treated with the EF, (Oil 1), second the pulp was first treated with the EF and the oil was extracted, (Oil 2). The oil treated with EF was deposited in a closed container and was stored at room temperature in a box (4, 13, 28, 90 and 365 days). In agreement with the chemical values, the oils had smaller modification in the unsaturated fatty acids and was corroborated by FTIR, and identified a *trans* double bonds in all samples studied (968 cm^{-1}), with an average peak height of 0.2 mm.

Additional key words: Oil, *trans* fatty acids, avocado, electric field, Fourier transform infrared spectroscopy, chemical values.

INTRODUCCIÓN

Debido a su composición nutrimental y a su elevado contenido de humedad, la pulpa de aguacate es un producto perecedero y susceptible de ser oxidado por la presencia de la enzima polifenoloxidasa (EPO) entre otras. La EPO origina el pardeamiento enzimático, cuando el oxígeno y la enzima reaccionan sobre el sustrato monofenol y origina al compuesto difenol, que posteriormente la enzima lo oxida para formar la *o*-quinona, luego lo polimeriza en complejos coloridos que son denominados como melanina (Yoruk y Marshall, 2003). Para evitar este deterioro y disminuir las pérdidas de las características sensoriales, nutritivas y de calidad, se emplean métodos de conservación como son los métodos tradicionales y emergentes. Los métodos tradicionales por lo general, consisten en procesos térmicos. Sin embargo, la aplicación de calor no son aptos para la mayoría de las frutas y hortalizas (Jacxsens *et al.*, 2001). Estudios previos han indicado que la utilización de los métodos emergentes pueden tener una solución a la problemática antes descrita, como son la alta presión hidrostática, atmósferas modificadas, ultrasonido, irradiación, liofilización, microondas, campo electromagnético pulsado, campo eléctrico pulsado y campo eléctrico (Raso y Barbosa-Cánovas, 2003). Diversas investigaciones han indicado que el efecto del campo eléctrico pulsado (CEP) sobre las enzimas, radica en la modificación de su actividad que afecta su estructura nativa (Yeom *et al.*, 2002), por ejemplo, en la conservación de la papaya con CEP (50 kV cm⁻¹, 2000 μs, 35 °C) se determinó que el CEP inactivó en un 90 % a la enzima (papaína) debido a la pérdida de su estructura α -hélice (Yeom *et al.*, 1999). En otro estudio realizado por Giner *et al.* (2002) en melocotón, con CEP (22.3 kV cm⁻¹, 6000 μs, 15 °C) observaron que la EPO se inactivaba en un 70 %, y concluyeron que este efecto es debido a que los CEP modifican la estructura molecular de la enzima. Por otra parte, Castro *et al.* (2001) estudiaron el efecto del CEP (22 kV cm⁻¹, 51800 μs) sobre la fosfatasa alcalina (FAL) en leche, y cuantificaron una disminución del 65 % de esta enzima, debido a la degradación de su estructura secundaria. Además, observaron que la aplicación del CEP modifica totalmente la configuración globular de la FAL.

Entre la composición nutrimental de la pulpa de aguacate, la cantidad de lípidos son los segundos en concentración, se han informado valores de 21 % lo que lo hace una fuente potencial de aceite (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003). El aceite de aguacate contiene ácidos grasos semejantes a la del aceite de oliva virgen (Ratovohery *et al.*, 1988). El principal ácido graso monoinsaturado es el oleico (C18:1 *o* w-9), encontrándose en cantidades de 60.28 % (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003). 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 *o* w-6) en una cantidad de 13.66 % (Ortiz-Moreno *et al.*, 2003), mientras que en aceite virgen 7 % (Andrikopoulos *et al.*, 2002). Los ácidos grasos de la serie w-9 y w-6 están asociados al ácido linolénico (C18:3 *o* w-3), que es el precursor de los ácidos grasos de la serie w-3 y del ácido araquidónico (C20:4), este último sintetiza las prostaglandinas, tromboxanos, 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 y aumentan la permeabilidad vascular (Teitelbaum y Walker, 2001).

Por otra parte, los aceites durante su extracción, refinación y almacenamiento, se inician y genera su degradación de los ácidos grasos insaturados que afecta su vida útil (Allen *et al.*, 1982). Además, durante la extracción y refinación se forman 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). Durante la refinación en el proceso de desodorización se cuantifican un 1 %, esta cantidad depende del tipo de aceite y de la cantidad de ácidos grasos insaturados o poliinsaturados que contenga (Eder, 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 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⁻¹ 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). La idea fundamental de este trabajo fue evaluar por índices químicos la degradación del aceite y por espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier la posible formación de isómeros *trans* en el aceite de aguacate después de someter al aceite y la pulpa de este fruto al efecto del campo eléctrico y almacenado a varios tiempos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron diez piezas de aguacate (*Persea americana* Mill. var. Hass) adquiridos localmente en el estado de Puebla, México. Los frutos fueron seleccionados por tacto 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 (este último por diferencia) usando los procedimientos de la AOAC (2006). Cada análisis se realizó por triplicado.

Extracción del aceite

Para la extracción de los aceites, la pulpa se homogenizó

en una batidora (Braun MultiPractic Food Processor) durante 20 segundos. 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 depositaron dentro de una estufa Memmert (modelo ICP-400) con vacío, a una temperatura de 70 °C durante 2 minutos, para que la pulpa se deshidrata hasta una humedad de 10 %, posteriormente se realizó la extracción del aceite, como se describe a continuación:

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

Caracterización del aceite de aguacate. Se caracterizaron por medio de los siguientes análisis: índice de acidez (NM, 1987a), índice de peróxido, (NM, 1987b) e índice de yodo (NM, 1981). Cada análisis se realizó por triplicado.

Análisis por espectroscopia. Para el análisis de los aceites tratados con campo eléctrico por espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (EITF), se tomó la altura del pico de los isómeros *cis* y *trans* como valor de referencia, y los estudios realizados por Guillén y Cabo (1998) de diferentes aceites vegetales y grasas, y las investigaciones de Coates (2000). En el Cuadro 1 se resumen los principales números de onda, grupo funcional y modo de vibración.

CUADRO 1. Relación de los números de onda, grupos funcionales y modo de vibración de las grasas y aceites vegetales.

Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional	Modo de vibración
723	-HC=CH- (<i>cis</i>)	Flexión fuera del plano
968	-HC=CH- (<i>trans</i>)	Flexión fuera del plano
1654	-HC=CH- (<i>cis</i>)	Estiramiento
1746	-C=O (éster)	Estiramiento
3006	-HC=CH- (<i>cis</i>)	Estiramiento
3025	-HC=CH- (<i>trans</i>)	Estiramiento
3040	-HC=CH- (<i>trans</i>)	Estiramiento
3468	-C=O (éster)	Estiramiento

Para confirmar la identificación de los dobles enlaces *trans* se analizó una muestra de un estándar de ácido eláidico (C18:1t), grado cromatográfico (Sigma-Aldrich®, Co. LLC, St. Louis, Missouri, USA), que corresponde a la forma *trans* del ácido oleico (C18:1). En la Figura 1, podemos identificar los picos asociados a los dobles enlaces *trans* del estándar, como se indica en el Cuadro 1.

Para el análisis espectroscópico de los aceites de aguacate se empleó espectroscopia de EITF, en el modo de medición de

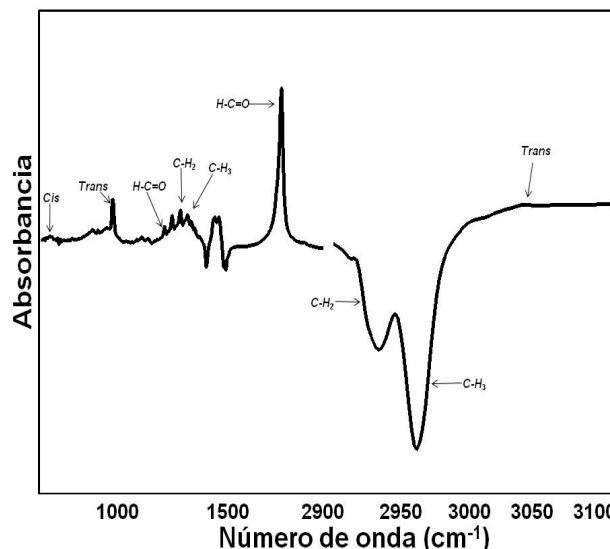


FIGURA 1. Espectro de FTIR del estándar del ácido graso eláidico (18:1t).

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 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)

Tratamiento con campo eléctrico. En un trabajo previo realizado para la inactivación de la enzima polifenoloxidasas en pulpa de aguacate con la aplicación del campo eléctrico, se estableció que el mejor tratamiento fue a 720 Hz con 9 kVcm⁻¹ durante 3 minutos, con una disminución del 70 % de la actividad enzimática. Para el estudio del efecto del campo eléctrico sobre el aceite de aguacate, se tomaron las condiciones antes mencionadas y la siguiente estrategia:

1) El aceite de aguacate obtenido por centrifugación fue tratado directamente con el campo eléctrico (Aceite 1).

2) La pulpa de aguacate se expuso al campo eléctrico y posteriormente se extrajo el aceite por centrifugación (Aceite 2).

La muestra se colocó entre dos electrodos a 20 kV y 2 cm de distancia (10 kV cm⁻¹), la forma de la onda fue cuadrada y la corriente eléctrica fue de 5 mA.

El aceite de aguacate obtenido se depositó en un envase cerrado y fue almacenado a temperatura ambiente dentro de una caja, y se tomaron muestras a 4, 13, 28, 90 y 365 días, y fueron analizadas con EITF siguiendo la metodología indicada en el párrafo anterior.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza y se compararon las medias de los tratamientos de los índices

químicos, 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 2, en comparación con valores informados en la literatura por Bora *et al.* (2001) y Ortiz-Moreno *et al.* (2003).

CUADRO 2. 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).

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 3 se muestran los resultados de los índices químicos determinados en los aceites de aguacate extraídos en pulpa por centrifugación.

CUADRO 3. Caracterización del aceite de aguacate almacenado a varios tiempos.

Tratamientos (días)	Acidez (% de ácido oleico)	Peróxido (meqO ₂ ·kg ⁻¹ de aceite)	Yodo (cgI ₂ ·g ⁻¹)
0	0.74 ± 0.05 ^a	2.46 ± 0.31 ^b	86.67 ± 2.14 ^f
4	0.75 ± 0.03 ^a	2.48 ± 0.11 ^b	86.50 ± 1.34 ^f
13	0.78 ± 0.02 ^a	2.49 ± 0.42 ^b	86.46 ± 1.36 ^f
28	0.79 ± 0.04 ^a	3.66 ± 0.23 ^c	84.67 ± 2.11 ^h
90	0.80 ± 0.03 ^a	5.69 ± 0.53 ^d	82.2 ± 1.91 ⁱ
365	0.84 ± 0.01 ^a	9.28 ± 0.27 ^e	80.2 ± 1.45 ^j

Efecto del campo eléctrico...

Los valores son promedios de 3 repeticiones ± desviación estándar.

Letras iguales en superíndices en una misma fila, indican diferencia significativa. El índice de acidez, es una medida de la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite (Matissek *et al.*, 1998). Los aceites almacenados no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$). No obstante, los valores para el método propuesto se encuentra 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). Por lo tanto, en los aceites hubo un mínimo de formación de ácidos grasos libres.

El índice de peróxido determina el contenido de hidropéroxidos y ofrece una medida de la oxidación de los ácidos grasos insaturados (Allen *et al.*, 1982; Matissek *et al.*, 1998). En los aceites almacenados a 28, 90 y 365 días fueron diferentes entre ellos, este último presentó mayor índice ($P < 0.05$) en comparación con los aceites de 4 y 13 días, entre estos aceites 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 O₂·kg⁻¹ de aceite (NM, 2008), por lo 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⁻¹ de aceite para la misma variedad. Por lo tanto, los aceites contienen un mínimo de oxidación de sus ácidos grasos insaturados.

El índice de yodo determina la cantidad de dobles enlaces (Allen *et al.*, 1982; Matissek *et al.*, 1998). Los valores de índice de yodo de los aceites de aguacate a 28, 90 y 365 días fueron significativamente diferentes entre sí ($P < 0.05$), mientras que los aceites analizados durante 4 y 13 días no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$). Los índices fueron similares al determinado por Ortiz-Moreno *et al.* (2003) de 82.1 cg I₂·g⁻¹, excepto el aceite a 365 días, y sólo los aceites de 4, 13 y 28 días se encontraron dentro del intervalo especificado en la Norma Mexicana de 85-90 cg I₂·g⁻¹ (NM, 2008).

Por otra parte, el método por centrifugación su rendimiento fue 38.3 %. Aunque el rendimiento fue bajo, uno de los propósitos del estudio fue que los AGT se generen en menor concentración.

Análisis por espectroscopía de infrarrojo. A continuación en la Figura 2 se muestran los resultados de los espectros de aceites de aguacate y su comparación con el estándar.

Comparando las bandas de absorción del estándar con los espectros de los diferentes aceites de aguacate (Figura 2), se observa que se identifican bandas de absorción encontradas en el estándar; además, presentan una similitud a los grupos funcionales y dobles enlaces, debido a su composición química que originan picos característicos de los diversos aceites vegetales comestibles (Guillén y Cabo, 1998) y grasas (Guillén y Cabo, 1998; Ariza-Ortega *et al.*, 2010a), y con aceites de aguacate de

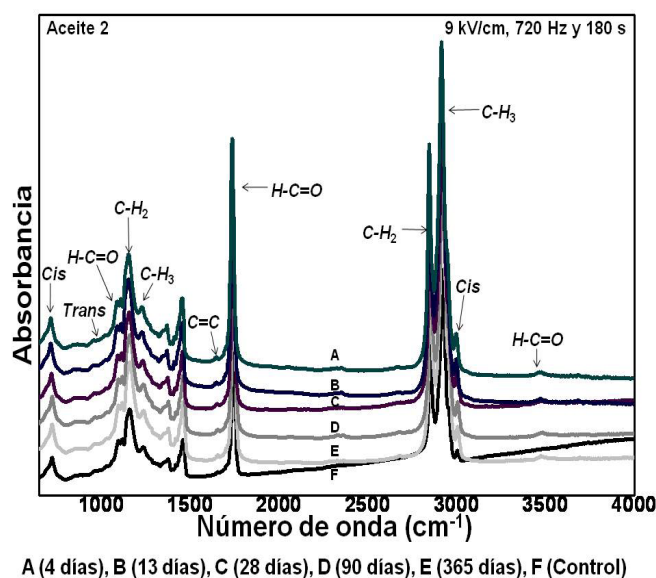


FIGURA 2. Espectros de FTIR de los aceites de aguacate (Aceites 1 y 2) tratados con campo eléctrico y almacenado a diferente tiempo.

otras variedades, por ejemplo, Criollo y Fuerte (Ariza-Ortega *et al.*, 2010b).

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 reportaron Guillén y Cabo (1998); Coates (2000) y Ariza-Ortega *et al.* (2010a) respectivamente, y sólo fueron detectados en la región de 968 cm^{-1} , con un promedio de la altura del pico en los aceites 1 y 2 de 0.2 mm en todas las muestras, esta intensidad fue mínima en comparación a los dobles enlaces *cis* a 723 cm^{-1} con un promedio de la altura del pico de 1 cm en todas las muestras analizadas en los aceites 1 y 2. Por lo tanto, se puede inferir que el método de extracción propuesto genera 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 éstos eran bajos en los aceites extraídos por prensado en frío, pero aumentaban con el secado de las semillas, presumiblemente por la destrucción de los hidroperóxidos.

Por otro lado, diversos investigadores han reportado 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 tratados con el campo eléctrico y almacenados a varios tiempos, se observó que en el pico a 1654 cm^{-1} que corresponde a los dobles enlaces *cis*, no hay un cambio espectral en la intensidad en las

bandas en los diferentes aceites analizados, si relacionamos estos resultados con los obtenidos en el índice de yodo (Cuadro 3), podemos corroborar que los aceites no presentan modificaciones estadísticamente significativas, y que presentan ácidos grasos insaturados semejante el aceite de oliva virgen, ya que están dentro del parámetro reportado, con un índice de yodo de 75-94 $\text{cg I}_2 \cdot \text{g}^{-1}$ (FAO/OMS, 1981).

En la región de 3500 cm^{-1} (Figura 2) se puede observar que todas las muestras de los aceites almacenados, presentaron una banda relacionada al grupo funcional carboxilo. Todos los aceites presentaron una intensidad. Además, si se comparan los resultados de EITF con el análisis del índice de peróxido, se corrobora que, los aceites presentaron 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 cerca de 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, presentan un mínimo de oxidación de sus ácidos grasos insaturados.

En la Figura 3 se muestra la región espectral de 1743-1750 cm^{-1} que corresponde al grupo funcional carboxilo del éster de los triacilglicéridos. Las bandas presentaron 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, realizado por Ariza-Ortega *et al.* (2010b) con aceites de aguacate de las variedades Hass, Criollo y Fuerte, extraídos por centrifugación (15557 g, durante 10 minutos a 40 °C) y con hexano (70 °C/4h) y analizados por EITF, observaron que el aceite de aguacate de la variedad Fuerte, presentó un pico ancho y un desplazamiento ligero del

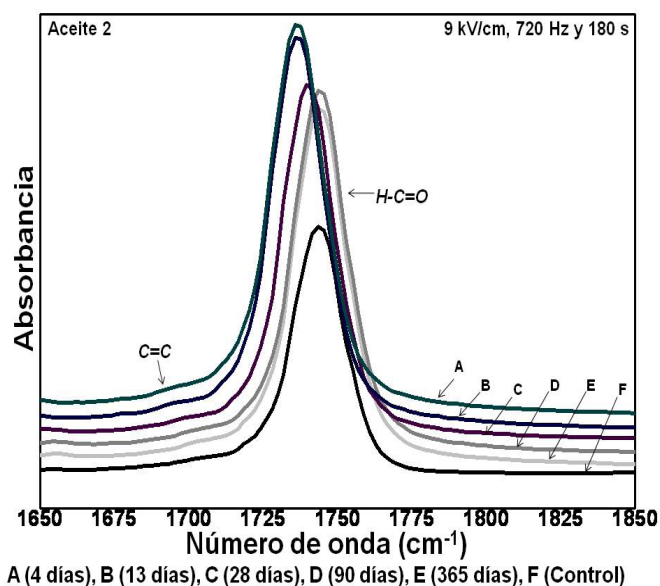


FIGURA 3. Expansión de los espectros FTIR en la frecuencia de 1650-1850 cm^{-1} .

pico hacia la escala del número de onda bajo, en comparación a los demás aceites y concluyeron que este efecto es debido a la formación de los ácidos grasos libres. Por otro lado, Yue *et al.* (2008) estudiaron la degradación de los triacilglicéridos en los aceites de oliva virgen, y observaron un incremento en la intensidad en 1726-1748 cm^{-1} por la formación de estos compuestos.

CONCLUSIONES

El aceite de aguacate mantuvo estables los ácidos grasos y no presentó el olor a rancio característico del deterioro en las primeras etapas de almacenado (4, 13, 28 y 90 días), ya que los productos de oxidación (hidroperóxidos) y los procesos de auto-oxidación de los ácidos grasos fueron mínimos.

La espectroscopia de EITF es una técnica apropiada para determinar a los dobles enlaces *cis* y *trans* en los aceites, ya que los resultados ayudan a estimar la composición de varios grupos funcionales de ácidos grasos.

LITERATURA CITADA

- Abbey M.; Nestel P. 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: 99-107.
- Allen R. R.; Formo M. W.; Krishnamurthy R. G.; McDermott G. N.; Norris A. F.; Sonntag O. V. 1982. Bailey's industrial oil and fat products. *In: Physical properties of fats and fatty acids*. Swern D. (eds). John Wiley & Sons, New York, EUA. pp: 178-183, 666-679.
- Andrikopoulos N. K.; Kalogeropoulos N.; Faliroa A.; Barbogianni M. 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. DOI: 10.1046/j.1365-2621.2002.00555.x
- Ariza-Ortega J. A.; Díaz-Reyes J.; Méndez-Ramos M. G.; Delgado-Macuil R. J.; Robles-de-la-Torre R. R. 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): 37-40.
- Ariza-Ortega J. A.; Díaz-Reyes J.; Delgado-Macuil R. J.; Robles-de-la-Torre, R. R. 2010b. Fourier transform infrared spectroscopy of the avocado oils varieties hass, criollo and fuerte. *Journal of Materials Science and Engineering*. 4(5): 66-69.
- Association Official of Analytical Chemists, Food Composition, Natives, Natural Contaminants. 2006. *In: Physical and chemical properties of foods*. AOAC. EUA. pp: 963-967.
- Bora P. S.; Narain N.; Rocha R. V. M.; Queiroz-Paulo M. 2001. Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits. *Grasas y Aceites*. 52(3-4): 171-174.
- Brühl L. 1996. Determination of *trans* fatty acids in cold pressed oils and in dried seeds. *European Journal of Lipid Science and Technology* 98: 380-383. DOI: 10.1002/lipi.19960981107.
- Castro A. J.; Swanson B. G.; Barbosa-Cánovas G. V.; Dunker A. K. 2001. Pulsed electric field denaturation of bovine alkaline phosphatase. *In: Pulsed Electric Fields in Food Processing. Fundamental aspects and applications* (Barbosa-Cánovas GV, Zhang QH, eds). Lancaster: Technomic Publishing Company Inc., pp. 83-103.
- Coates J. 2000. Interpretation of Infrared spectra, a practical approach in encyclopedia of Analytical Chemistry. John Wiley & Sons Ltd. Chichester. pp: 10815-10837.
- Eder S. R. 1982. Development of artifacts during processing of food oils and fats. *Fat-science technology*. 84: 136-141.
- FAO/OMS. 1981. Norma del CODEX para los aceites de oliva vírgenes y refinados y los aceites refinados de orujo de aceituna. No Regulados por Normas Individuales. (Ed.) Secretaría del Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias, 1-6. FAO. Roma.
- 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, 26ª reunión. Bonn, Alemania, 1-5 de noviembre de 2004. Elaborado por Malasia y Dinamarca. CX/NFSDU 04/11.
- 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, Number133). Rules and Regulations. 41433-41506. <http://www.fda.gov/food/labelingnutrition/labelclaims/nutrientcontentclaims/ucm110179.htm>
- Gaydou E. M.; Lozano Y.; Ratovoherly J. 1987. Triglyceride and fatty acid compositions in the mesocarp of *Persea americana* during fruit development. *Phytochemistry*. 26(6): 1595-1597.
- Giner J.; Ortega M.; Mesegué M.; Gimeno V.; Barbosa-Cánovas G. V.; Martín O. 2002. Inactivation of peach polyphenoloxidase by exposure to pulsed electric fields. *Journal of Food Science* 67(4): 1467-1472.
- Guillén D.; Cabo N. 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: 1789-1793. DOI: 10.1021/jf9705274.
- Guillén M. D.; Cabo N. 2000. Some of the most significant changes in the Fourier transform infrared spectra of edible oils under oxidative conditions. *Journal Science Food Agricultural* 80: 2028-2036. DOI: 10.1002/1097-0010(200011).
- Hayashi K.; Hirata Y.; Kurushima H.; Saeki M.; Amioka H.; Nomura S.; Kuga Y.; Ohkura Y.; Ohtami H.; Kajiyama G. 1993. Effect of dietary hydrogenated corn oil (*trans*-octadecenoate rich oil) on plasma and hepatic cholesterol metabolism in the hamster. *Atherosclerosis* 99: 97-106.
- Jacxsens L.; Devlieghere F.; Debevere J. 2001. Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on microbial growth and sensorial qualities of fresh-cut produce. *International Journal of Food Microbiology* 71: 197-210.

- Matissek R.; Schnepel F. M.; Steiner G. 1998. Análisis de los alimentos: fundamentos, métodos, aplicaciones. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S. A. pp: 297-302.
- Mensink R. P.; Katan M. 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: 439-445.
- Moss J. 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. 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. 2008. Norma Mexicana NMX-F-052-SCFI-2008. Aceites y grasas - aceite de aguacate - especificaciones.
- Ortiz M.; Dorantes L.; Galíndez J.; Guzmán R. 2003. Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil. *Journal Agricultural Food Chemistry* 51: 2216-2221.
- Raso J.; Barbosa-Cánovas G. 2003. Nonthermal preservation of foods using combined processing techniques. *Food Science and Nutrition* 43(3): 265-285.
- Ratovohery J. V.; Lozano Y. F.; Gaydou E. 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 S.; Dyerberg J. 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 J. E.; Walker A. W. 2001. Review: the role of omega 3 fatty acids in intestinal inflammation. *Journal of Nutritional Biochemistry* 12(1): 21-32.
- Yeom H. W.; Zhang Q. H.; Dunne P. 1999. Inactivation of papain by pulsed electric fields in a continuous system. *Food Chemistry* 67: 53-59. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb09519.x.
- Yeom H. W.; Zhang Q. H.; Chism G. W. 2002. Inactivation of pectin methyl esterase in orange juice by pulsed electric fields. *Journal of Food Science* 67(6): 2154-2159.
- Yoruk R.; Marshall M. R. 2003. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review. *J. of Food Biochemistry* 27: 361-422. DOI: 10.1111/j.1745-4514.2003.tb00289.x.
- Yue L.; García-González D. L.; Xiuzhu Y.; van de Voort F. 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: 599-604. DOI: 10.1007/s11746-008-1232-z.