

Comparación del aceite de aguacate variedad Hass cultivado en Colombia, obtenido por fluidos supercríticos y métodos convencionales: una perspectiva desde la calidad*

Ana María Restrepo Duque**, Julián Londoño-Londoño***, Dubán González Álvarez****, Yara Benavides Paz*****, Blanca Lucía Cardona Salazar*****

Resumen

Introducción. El aceite es el componente más importante del aguacate, que alcanza niveles hasta del 25%, dependiendo de la variedad y la madurez, y al cual se le atribuyen propiedades benéficas para la salud. **Objetivo.** Comparar el aceite de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad Hass cultivado en Colombia, obtenido por fluidos supercríticos, prensado en frío y soxhlet en términos de su calidad. **Materiales y métodos.** Se realizó la caracterización fisicoquímica, bromatológica y microbiológica del aguacate fresco y, previo al proceso de extracción, se efectuó la deshidratación de la materia prima por 3 métodos. El primero consistió en la aplicación de liofilización a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,05\text{ mbar}$ y una velocidad de $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mín}$; el segundo, secado convectivo a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ y, por último, secado solar controlado con una temperatura en el interior por debajo de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta que la humedad del producto alcanzara el 10%. Posteriormente, se extrajo el aceite por fluidos supercríticos a 25 MPa , 313K , prensado en frío y soxhlet, respectivamente. A los aceites obtenidos se les realizaron pruebas de calidad en términos de índice de acidez, índice de peróxido, índice de yodo, índice de saponificación y gravedad específica, según las normas AOCS. **Resultados.** Se presentaron diferencias estadísticamente significativas con un valor de ($p > 0,05$) en el índice de acidez, peróxido, yodo y saponificación, cuando se aplicaron diferentes métodos de extracción para la obtención de aceite de aguacate. Caso contrario ocurrió con la gravedad

específica. El aceite de aguacate extraído por fluidos supercríticos presentó valores de $90,18 \pm 0,78$; $16,87 \pm 1,15$; $0,48 \pm 0,35$; $226,18 \pm 1,11$ y $0,915 \pm 0,04$, para índice de peróxido, índice de acidez, índice de saponificación y gravedad específica, respectivamente. **Conclusión.** La extracción por fluidos supercríticos es la técnica más adecuada para la producción de aceite de aguacate, que permitió alcanzar el máximo rendimiento, el menor índice de acidez, baja oxidación de los ácidos grasos insaturados y mayor índice de yodo, comparado con métodos de extracción convencionales como prensado en frío y soxhlet.

Palabras clave: aguacate, fluidos supercríticos, prensado en frío, extracción soxhlet

Comparison of the oil from Hass variety avocado cultivated in Colombia, obtained by supercritical fluids and by conventional methods: a perspective under quality terms

Abstract

Introduction. Oil is the most important component of avocado, achieving levels up to 25% depending on the variety and the maturity. Such oil is known as a very beneficial product for health. **Objective.** Compare the avocado oil (*Persea americana* Mill), Hass variety, cultivated in Colombia and obtained by supercritical fluids, with those obtained by cold-pressing and soxhlet, under quality terms. **Materials**

* Artículo derivado de la investigación: "Extracción de aceite de aguacate variedad Hass (*Persea americana* Mill), cultivado en Colombia, mediante la tecnología de fluidos supercríticos", financiada por el Fondo para el Desarrollo de la Investigación de la Corporación Universitaria Lasallista durante 2012

** Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ingeniera Química, docente del programa de Ingeniería de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista. anrestrepo@lasallistadocentes.edu.co

*** Ph.D. En Ciencias Químicas. Químico farmacéutico. Director del grupo de investigación GRIAL, docente del programa de Ingeniería de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista. julondono@lasallistadocentes.edu.co

**** Joven Investigador, estudiante de IX semestre del programa de Ingeniería de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista, dugonzalez@ulasallista.edu.co

***** Auxiliar de investigación, Grupo de investigación GRIAL Corporación Universitaria Lasallista. ylbenavides@gmail.com

***** Magíster en Educación, Ingeniera Química, docente del programa de Ingeniería de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista. blacardona@lasallistadocentes.edu.co

and methods. The physical-chemical, bromatological and microbiological characterizations of the fresh avocado was performed and, before the extraction process, the dehydration of the raw material was made by three methods. The first one was an application of lio-philization at $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,05\text{ mbar}$ and a velocity of $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mín}$. The second was a convective drying at $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the third was a controlled drying with sunlight, with an interior temperature under $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Then, the oil was extracted by supercritical fluids at 25 MPa , 313K , cold-pressing and soxhlet, respectively. The oils obtained were tested under terms of acidity index, peroxide index, iodine index, saponification index and specific gravity according to AOCS regulations. **Results.** There were statistically significant differences with a value of ($p > 0,05$) in the acidity, peroxide, iodine and saponification indexes, when different methods were applied to extract the avocado oil. The opposite happened with the specific gravity. The avocado oil extracted with supercritical fluids had values of $90,18 \pm 0,78$; $16,87 \pm 1,15$; $0,48 \pm 0,35$; $226,18 \pm 1,11$ and $0,915 \pm 0,04$ for peroxide index, acidity index, saponification index and specific gravity, respectively. **Conclusion.** The extraction with supercritical fluids is the best technique to produce avocado oil, because it is useful to obtain the highest yield, the lowest acidity index, a low oxidation of unsaturated fatty acids and a higher iodine index, if compared with conventional extraction methods such as cold pressing and soxhlet.

Key words: avocado, supercritical fluids, cold pressing, soxhlet extraction

Comparação do azeite de abacate variedade hass cultivado na colômbia, obtido por fluidos supercríticos e métodos convencionais: uma perspectiva desde a qualidade

Resumo

Introdução. o azeite é o componente mais importante do abacate, atingindo níveis até de 25% de

pendendo da variedade e a maturidade, ao qual se lhe atribuem propriedades benéficas para a saúde.

Objetivo. Comparar o azeite de abacate (*Persea americana* Mill) variedade Hass cultivado na Colômbia, obtido por fluidos supercríticos, prensado em frio e soxhlet em termos de sua qualidade. **Materiais e métodos.** Realizou-se a caracterização físico-química, bromatológica e microbiológica do abacate fresco e prévio ao processo de extração se realizou a desidratação da matéria prima por 3 métodos. O primeiro consistiu na aplicação de liofilização a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0,05\text{ mbar}$ e uma velocidade de $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mín}$. o segundo, secado convectivo a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ e por último, secado solar controlado com uma temperatura no interior por embaixo de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente se extraiu o azeite por fluidos supercríticos a 25 MPa , 313K , prensado em frio e soxhlet, respectivamente. Aos azeites obtidos se lhes realizaram provas de qualidade em termos de índice de acidez, índice de peróxido, índice de iodo, índice de saponificação e gravidade específica segundo as normas AOCS. **Resultados.** Apresentaram-se diferenças estatisticamente significativas com um valor de ($p > 0,05$) no índice de acidez, peróxido, iodo e saponificação, quando se aplicaram diferentes métodos de extração para a obtenção de azeite de abacate. Caso contrário ocorreu com a gravidade específica. O azeite de abacate extraído por fluidos supercríticos apresentou valores de $90,18 \pm 0,78$; $16,87 \pm 1,15$; $0,48 \pm 0,35$; $226,18 \pm 1,11$ e $0,915 \pm 0,04$, para Índice de peróxido, Índice de acidez, Índice de saponificação e gravidade específica, respectivamente. **Conclusão.** A Extração por fluidos supercríticos é a técnica mais adequada para a produção de azeite de abacate, que permitiu atingir o máximo rendimento, o menor índice de acidez, baixa oxidação dos ácidos gordurosos insaturados e maior índice de iodo comparado com métodos de extração convencionais como prensado em frio e soxhlet.

Palavras importantes: abacate, fluidos supercríticos, prensado em frio, extração soxhlet

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill) pertenece a la familia de las Lauráceas y es originario de Guatemala, México y parte de Centro América¹. Ha sido reconocido como una buena fuente de energía, bajo en calorías y sodio², con alto contenido de ácidos grasos insaturados, vitamina E, ácido ascórbico, vitamina B₆, β-caroteno, y potasio³. Estudios previos reportan el conteni-

do de más de 20 nutrientes esenciales, algunos de ellos relacionados con la inhibición de tumores cancerígenos⁴. Recientemente se ha evaluado su capacidad antioxidante, el contenido de compuestos fenólicos y los principales fotoquímicos antioxidantes presentes tanto en la pulpa como en la semilla y la cáscara⁵. Otros estudios demuestran que el consumo de aguacate disminuye el colesterol sérico total, LDL colesterol y triglicéridos, y aumenta el co-

lesterol HDL⁶. Además, ha sido señalado que el aguacate podría ser usado como ingrediente en alimentos funcionales a causa de su alta concentración de ácido graso monoinsaturado (oleico) y compuestos fisiológicamente activos como vitaminas antioxidantes y fitoesteroles⁷. Algunos autores reportan la aplicación de aceite de aguacate comercial y extractos obtenidos de subproductos de aguacate en la formulación de productos cárnicos con fines de reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, problemas de obesidad⁸, y para inhibir la oxidación lipídica y proteica y el deterioro del color de productos cárnicos.

Las bondades nutricionales atribuidas al fruto de aguacate propiciaron la siembra masiva, que se evidencia en un incremento notable en la producción en los últimos años, hecho que obliga al sector productivo, a buscar alternativas de comercialización hacia productos procesados, semiprocesados y en fresco para consumo nacional y de exportación.

Simultáneamente, un incremento progresivo en los volúmenes de producción también aumenta los productos de menor calibre, que normalmente se comercializan en los mercados domésticos con precios menores, para los que se requiere encontrar alternativas de industrialización. Asimismo, un volumen de producción apreciable se pierde por sobremaduración, golpes y daños causados por insectos, hongos y bacterias, además de los defectos de calidad como maduración desigual, pulpa fibrosa, entre otros. Estas pérdidas son constantes y proporcionales al inventario de aguacate fresco disponible para la comercialización. Adicionalmente, la exportación del aguacate en fresco presenta serios inconvenientes en lo que respecta al cumplimiento de las normas fitosanitarias dispuestas por países como EU; por esta razón la exportación de productos procesados de aguacate podría ser una excelente alternativa para su comercialización⁹.

El aguacate presenta una variedad de usos como productos industrializados, que permiten el aprovechamiento de esos remanentes y reducen las pérdidas postcosecha, entre ellos el aceite, tradicionalmente utilizado para fines cosméticos, aunque se ha incrementado

la producción de aceite extra virgen para usos culinarios, con gran potencial futuro debido a sus cualidades que pueden sustituir al aceite de oliva¹⁰.

Existen diferentes tecnologías utilizadas para la obtención del aceite de aguacate, algunas de ellas son: extracción por prensado en frío, aplicada para semillas con alto contenido de aceite (que presenta un rendimiento entre un 10 y 12% del total del contenido graso para la variedad Hass), extracción por enzimas hidrolíticas (permite recuperar hasta un 80% del total del contenido graso)¹¹, extracción con solventes orgánicos como el hexano, usualmente aplicada para semillas con bajo contenido de aceite (menor al 20%) como la soya¹² (Azadmard-Damirchi, Habibi-Nodeh, Hesari, Nemati, & Achachlou donde es posible alcanzar rendimientos de aceite por encima del 95% del total del contenido graso, con una recuperación de solventes de más del 95%. Las principales preocupaciones de este proceso han sido las implicaciones de seguridad que rodean el uso de hexano, por ser peligroso para la salud humana y por tener propiedades cancerígenas y tóxicas¹³.

Por lo anterior, se han explorado diversos métodos con los que se puedan alcanzar rendimientos similares y estén fundamentados en tecnologías de extracción más limpias que no generen concentraciones de compuestos residuales; una de ellas es la extracción por fluidos supercríticos (EFSC). El proceso maximiza la recuperación y la calidad del material extraído, además de ser altamente efectivo debido a que es más rápido y selectivo que los métodos convencionales de separación. La tecnología se ha utilizado con éxito en la industria alimentaria para descafeinación de café y té, extracción de aceite esencial de especias, obtención de extracto de lúpulo, concentrado de aromas y fragancias vegetales, extracción de pigmentos y antioxidantes de vegetales, extracción de plaguicidas naturales, y extracción y fraccionamiento de aceites y grasas¹⁴.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue comparar la calidad del aceite obtenido por una tecnología de extracción limpia con el que resulta de aplicar tecnologías convencionales.

Materiales y métodos

Materiales. Los aguacates utilizados en esta investigación fueron suministrados por una finca productora del oriente antioqueño, ubicada en el municipio de El Retiro, localizada a 2.200 msnm y con temperatura media de 15°C proporcionados por la distribuidora DiHass. Los reactivos empleados grado analítico fueron marca Merck y el dióxido de carbono del 99.5%, suministrado por la empresa CRYOGAS.

Selección y caracterización de la materia prima. La materia prima utilizada fue la denominada "producción industrial" (de menor calibre, sobre madura, afectada por golpes y por defectos de calidad como maduración desigual, pulpa fibrosa y otros). Los criterios de selección se realizaron con base en una caracterización de los aguacates, siguiendo un muestreo aleatorio estratificado simple que permitió calcular el tamaño muestral de acuerdo con el tamaño de la subpoblación. Los aguacates fueron transportados al centro de laboratorios de la Corporación Universitaria Lasallista (Caldas-Antioquia) y una vez allí fueron separados de la cáscara y la semilla; luego su pulpa fue convertida en puré. Se analizó la calidad microbiológica, realizando pruebas de Coliformes totales (NTC 4458)¹⁵, E. coli (NTC4458)¹⁶, mohos y levaduras (NTC 4132)¹⁷, mesófilos (NTC 4519)¹⁸, Salmonella (NTC 4574)¹⁹ caracterización físico-química: actividad de agua, contenido de grasa, acidez, e índice de madurez, según los métodos reportados en el AOAC²⁰. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Extracción de aceite de aguacate

Extracción de aceite por soxhlet²¹. Para la extracción de los aceites, la pulpa se homogeneizó en una procesadora de alimentos; posteriormente se depositó en cajas 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), a temperatura de 45°C hasta que la pulpa se deshidratara hasta una humedad de 10%, y luego se llevó a cabo la extracción del aceite utilizando disolvente (hexano) con calor según la norma 963.15 de la AOAC²².

Extracción de aceite por prensado en frío²³. Láminas de pulpa de aguacate de 5 mm de

espesor fueron deshidratadas en un secador solar que permitió mantener la temperatura por debajo de 45°C, para evitar la degradación de los compuestos bioactivos presentes en el fruto. Este proceso fue llevado a cabo en un secador solar tipo invernadero por un período de tiempo de 6 h. La muestra seca fue sometida a prensado en frío para la obtención del aceite, al cual posteriormente se le evaluó su calidad.

Extracción de aceite por fluidos supercríticos (FSC). Un sistema de liofilización de bandejas de 12 L marca Labconco, ref.77590-44 con válvula de purga y colector revestido de teflón fue usado para la deshidratación de la pulpa de aguacate. Dicha pulpa se congeló a una velocidad de 0,04 °C/mín hasta -25°C. Una vez congelada la muestra se aplicó una presión de vacío de 0,05 mbar para el proceso de sublimación. El calor de sublimación fue suministrado por 3 placas localizadas dentro de la cámara del liofilizador. Las muestras fueron calentadas desde -25 hasta 31 °C por un período de tiempo de 8 h.

La muestra seca fue sometida a la extracción del aceite en un equipo de extracción por FSC a escala semindustrial con las especificaciones que se muestran en la tabla 1.

Las condiciones para la extracción fueron seleccionadas con base en estudios previos donde se reporta la obtención de una fracción de aceite, rica en vitamina E obtenida a condiciones de operación de 25 MPa, 313K²⁴.

Calidad del aceite extraído. La calidad del aceite extraído por diferentes métodos fue evaluada en términos de ácidos grasos libres, según método oficial AOCS. ca 5a – 40²⁵, índice de peróxido según método oficial AOCS. cd 8 – 53²⁶, índice de yodo según método oficial AOCS. cd 1-25²⁷, índice de saponificación y gravedad específica según método oficial AOCS 10a-25²⁸.

Análisis de datos. Los resultados fueron analizados a partir de ANOVA, utilizando el método LSD (mínimas diferencias significativas) como método de comparaciones múltiples, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$). El análisis de varianza fue realizado con el paquete estadístico STATGRAPHICS, Centurión licencia amparada por la Corporación Universitaria Lasallista.

Tabla 1. Información técnica del equipo de extracción por fluidos supercrítico

Información técnica del equipo de extracción por fluidos supercrítico	
Característica	Límites
Capacidad máxima del extractor	12 litros x 2
Presión del extractor	45Bar
Temperatura máxima del extractor	90°C
Presión máxima de la columna de separación	22 Bar
Temperatura máxima de la columna de separación	90°C
Capacidad máxima de la columna de separación	4 L
Presión del separador	9.8 Bar
Temperatura máxima del separador	90°C
Capacidad máxima del separador	5 L
Solvente	Dióxido de Carbono (CO ₂) Pureza> 99.5% Humedad< 0.2%

Resultados y análisis

Caracterización de la materia prima

Caracterización fisicoquímica y bromatológica. La tabla 2 muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica y bromatológica del aguacate fresco.

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana (NTC 1248)²⁹, los aguacates seleccionados como materia prima para la extracción del aceite, después de la caracterización previa del fruto, están clasificados en la categoría II, los cuales se aceptan con defectos en la forma, el color, defectos en la epidermis ocasionada por insectos (trips y ácaros) y quemaduras por el sol en un área total que no exceda los 6 cm², siempre y cuando se conserven las características mínimas en cuanto a la calidad. En relación con el peso promedio, los aguacates seleccionados en la investigación están clasificados como calibre A con peso inferior o igual a 120 g. Esta aclaración toma importancia si se confirma que uno de los propósitos de esta investigación es darle solución a parte de los excedentes de producción y comercialización que representan aproximadamente el 30% de la producción nacional de aguacate, materia prima que podría llegar a ser de gran importan-

cia para su utilización en procesos de transformación para diferentes usos³⁰.

De la tabla 2 se observa que el extracto etéreo, luego de la humedad, es el componente mayoritario en la pulpa, con valores similares a los reportados para el aguacate variedad fuerte, cultivado en Brasil³¹ y para el aguacate variedad Hass cultivado en México³².

Ortiz-Moreno; *et al.*³³ han señalado que durante la fase de maduración del aguacate, se considera maduro cuando presenta un contenido mínimo de lípidos en la pulpa del 15%, por lo que los frutos seleccionados y utilizados para este estudio, pueden ser considerados maduros.

Análisis microbiológico. La tabla 3 muestra los resultados del análisis microbiológico en términos de recuento de microorganismos aerobios, recuento de coliformes, recuento de *clostridium* sulfitorreductores, recuento de hongos, *E. coli* y *salmonella*

Los resultados que se muestran en la tabla 3 permiten verificar que la materia prima se encontraba en condiciones óptimas para el proceso debido a que los valores experimentales encontrados para cada uno de los análisis realizados están dentro de los límites permitidos por la legislación (NTC 5468)³⁴.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica y bromatológica de la pulpa de aguacate

Análisis fisicoquímicos y bromatológicos	
Peso (g)	84,42±(8,63)
Diámetro longitudinal (mm)	10.67±(0.07)
Diámetro ecuatorial (mm)	7.30±(0.20)
L* (luminosidad)	41.69±(1.4045)
a* (cromaticidad del verde al rojo)	-6.33±(0,78)
b* (cromaticidad del azul al amarillo)	25.80±(1,40)
pH	2.36±(0.12)
Sólidos solubles totales (°Brix)	14.94±(0.77)
Cenizas (%)	2,41±(0,18)
Acidez titulable (eqH ⁺ /g)	0,003±(0,0001)
Actividad de agua (Aw)	0,982±(0,004)
Humedad (%)	71,9±(1,4)
Extracto etéreo (%)	17,11±(0,43)

Tabla 3. Análisis microbiológico del aguacate fresco

Análisis microbiológicos		
Parámetro	Resultado	Límite permisible*
Recuento de microorganismos aerobios, mesófilos (UFC/g)	< 10 ²	2 x 10 ⁴
Recuento de coliformes (NMP/g)	< 3	1 x 10 ²
Recuento de Clostridium sulforeductores (UFC/g)	Ausente	20 x 10 ¹
Recuento de hongos (UFC/g)	3	3 x 10 ³
E. coli NMP/g	Ausente	Ausente
Aislamiento de Salmonella en 25g	Ausente	----

Extracción del aceite de aguacate

Aceite extraído por Soxhlet (AES). El uso de la técnica de extracción que utiliza hexano como solvente dió como resultado 17,11% de aceite con respecto a la pulpa. Tomando como valor promedio 20% según el rango reportado en la literatura (15-19%, que puede llegar a ser 25% si se trata de aguacate variedad Hass), el rendimiento del aceite extraído fue del 85,5%, lo cual coincide con los datos de la literatura³⁵. Aunque se alcanzó un rendimiento considerable en la aplicación de la técnica, la principal preocupación de este proceso se concentra en las implicaciones de seguridad que rodean el uso de hexano, lo que ha llevado a diversos intentos de desarrollar métodos basados en el uso de medios de extracción acuosa³⁶.

Aceite extraído por prensado en frío (AEPF).

El rendimiento del aceite obtenido respecto a la pulpa usando la técnica de prensado en frío fue de 16,52%, lo cual implica un 82,68% de rendimiento del aceite extraído. Resultados de investigaciones previas reportan la obtención de aceite de aguacate variedad Hass aplicando métodos combinados (microondas y prensado). El estudio reportó valores más bajos de enantiómeros trans (0.5g/100g) y concluyó que la aplicación de microondas no afectó las propiedades físicas ni químicas del aceite obtenido. También se encontró en las observaciones microestructurales, que la aplicación de microondas provoca la salida de aceite de las vacuolas sin colapsar su pared celular³⁷.

Aceite extraído por fluidos supercríticos (AEFSC). Un rendimiento superior a los encontrados por las técnicas anteriores se obtuvo para el aceite de aguacate cuando se aplicó la técnica de extracción por fluidos supercríticos; así, el rendimiento del aceite en relación con la pulpa de aguacate fresco fue del 18,9%, lo que indica la efectividad de la tecnología emergente. Otros métodos de extracción como el enzimático ofrecen rendimientos de hasta el 80%³⁸, y el tratamiento con microondas y disolventes muestra resultados entre el 80% y el 90%³⁹.

Calidad del aceite extraído

La figura 1 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de los parámetros: índice de yodo (a), índice de peróxido (b), % Acidez expresada como % Acido oleico (c), índice de saponificación (d), evaluados en el aceite de aguacate extraído por diferentes métodos (AEFSC, AEPF, AES).

El índice de yodo (figura 1a) es una medida directa de dobles enlaces presentes en un aceite⁴⁰. Se puede observar que hay diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los 3 métodos de extracción para el índice de

yodo; sin embargo, los aceites AES y AEPF conforman un grupo homogéneo sin variaciones notables. Todos los aceites están entre el límite máximo establecido por la Norma⁴¹ de 85-90 $\text{cg I}_2/\text{g}$; el aceite AEFSC (tabla 3) es el que presenta mayor valor debido a que tiene un alto grado de insaturaciones⁴²; la presencia de insaturaciones en los aceites es debido a los mecanismos propios de la planta para fijar dobles enlaces, siendo el principal precursor de nuevos ácidos grasos la coenzima acetyl-CoA. La biosíntesis de ácidos grasos es afectada también por factores ambientales de pre cosecha como luz, temperatura, riego, constituyentes del suelo, daños físicos y ataque de plagas⁴³; a su vez, se pueden presentar mayores reacciones oxidativas que deterioran el aceite⁴⁴. Lo anterior confirma que tanto la metodología de secado como la técnica de extracción empleada para la obtención del aceite juegan un papel fundamental en la calidad del aceite, evaluada bajo el parámetro de índice de yodo, evidenciándose así que el AEFSC protegió los compuestos que presentan las insaturaciones. El valor de índice de yodo obtenido para el AEFSC ($90,18 \pm 0,78$) es mayor al reportado en la literatura para aceites de oliva extra virgen comercial, lo que confirma la calidad nutritiva del aceite extraído⁴⁵.

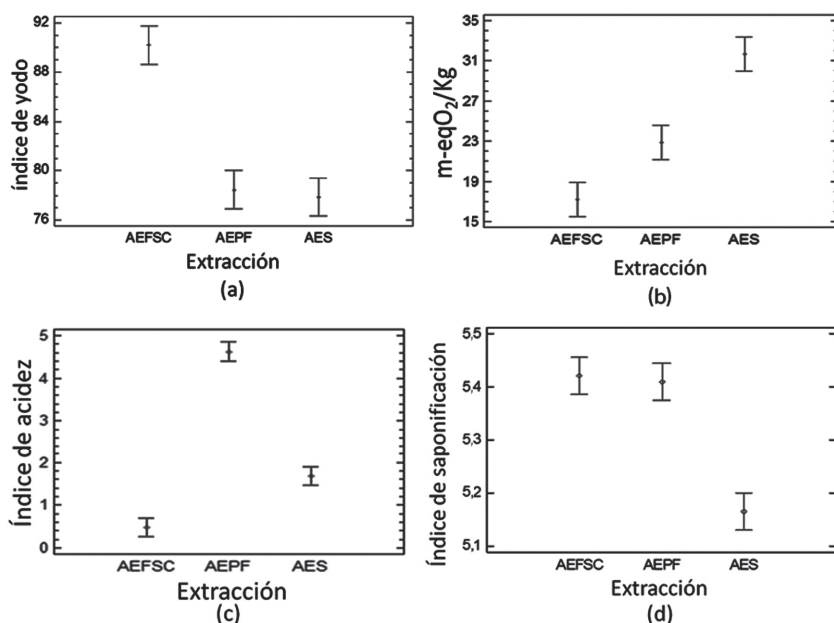


Figura 1. Valores medios con los intervalos LSD (95%). (a) Índice de Yodo. (b) Índice de peróxido. (c) Ácidos grasos libres (% ácido oleico). (d) Índice de saponificación

Tabla 4. Pruebas de calidad del aceite de aguacate extraído por diferentes métodos

Propiedad	Metodología de extracción			Limite permisivo*
	AES	AEPF	AEFSC	
Índice de yodo cgl_2/g	77,85± 2,1	78,44±1,41	90,18±0,78	85-90
Índice de peróxido (meqO_2/kg)	31,66±2,47	22,86±1,94	16,87±1,15	Max. 10
Índice de acidez (% ácido oleico)	1,68±0,14	4,63±0,03	0,48±0,35	Max. 1,5
Índice de saponificación mg KOH/g	175,07±2,98	223,69±6,57	226,18±1,11	177-198
Gravedad específica	0,874±0,05	0,914±0,03	0,915±0,04	0,910-0,920

En la tabla 4 se observan los valores de índice de peróxido para todos los aceites, se encontraron valores superiores a lo establecido por la Norma⁴⁶ de 10 $\text{meq O}_2/\text{kg}$ de aceite, donde se establecen diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los métodos de extracción (figura 1b). Al comparar la extracción por AES con las otras dos técnicas se evidencia un alto valor (31,66 $\text{m-eqO}_2/\text{Kg}$); esto se debe al calentamiento prolongado y a la exposición a luz, incrementando así la producción de oxígeno activo⁴⁷⁻⁴⁸; caso contrario ocurre con el AEFSC el cual tuvo un menor valor (16,87±1,15), evitando así que el aceite sea susceptible a la aparición de olores y sabores indeseables ocasionados por la formación de aldehídos, alcoholes y cetonas causadas por los hidroperóxidos y peróxidos⁴⁹. Este valor está por debajo del reportado para el aceites de oliva extra virgen comercial, donde se encontró un valor de 19,7±0,009 $\text{m-eqO}_2/\text{Kg}$ ⁵⁰.

De la figura 1(c) se puede observar que existen diferencias estadísticamente significativas entre el índice de acidez de los aceites cuando estos fueron sometidos a diferentes metodologías de extracción. El valor más bajo de índice de acidez lo presenta el aceite extraído por fluidos supercríticos (0,48 ± 0,35), y el más alto lo presenta el aceite obtenido por prensado en frío (4,63±0,03). Lo anterior tiene sentido si se tiene en cuenta que este último, previo al proceso de extracción, estuvo sometido a deshidratación solar por largos períodos de tiempo, lo que probablemente desencadenó reacciones de degradación debido a la presencia del oxígeno, la luz y el calor⁵¹. Caso contrario ocurrió con el aceite extraído por fluidos supercríticos, donde la materia prima se secó por medio de liofilización (evitando así el incremento de temperatura) y se realizó la extracción con CO_2 que alcanza sus condiciones supercríticas

a temperaturas muy cercanas a la del ambiente⁵² evitando de esta manera la degradación del aceite y, por ende, el incremento de su acidez.

El índice de acidez de (0,48 ± 0,35 %) para el AEFSC es un valor bajo, que permite, según la NTC 199⁵³, clasificar al aceite como extra virgen, pues su acidez es menor a 0.8%. Jiménez⁵⁴ reporta distintos valores dependiendo del método de extracción; sin embargo, están en un rango de 0.50-1.50%⁵⁵. Estos resultados son coherentes con los reportados por Méndez y Falqué, 2007⁵⁶, quienes evaluaron la influencia del tiempo de almacenamiento y tipo de envase en la calidad del aceite de oliva extra virgen y encontraron índices de acidez desde 0,30-0,45. Se muestra así la excelente calidad del aceite de aguacate, pues posee un bajo contenido de ácidos grasos libres. Asimismo, Ariza et al.⁵⁷ encontraron que el índice de acidez del aceite que se extrajo con disolventes y calor presentó mayores valores cuando se comparó con el extraído sin calor y por centrifugación.

El índice de saponificación (figura 1d) presentó variaciones estadísticas ($p > 0,05$); sin embargo, se puede evidenciar que hay homogeneidad entre AEFSC y AEPF. El valor o índice de saponificación de un aceite indica el número de miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para saponificar 1 g de aceite completamente. Los valores obtenidos son superiores (tabla 3) a lo establecido en la norma (177-198 mg KOH/g)⁵⁸ y a los reportados por Farhoosh et al.⁵⁹ para aceite de soya y canola obtenido después de aplicar los pasos del proceso de refinación. Lo anterior puede explicarse sobre la base de que los aceites están formados por triglicéridos principalmente, y que cada triglicérido necesita 3 moléculas de KOH para sa-

ponificarse⁶⁰; este valor da la medida del peso molecular promedio de los triglicéridos, ya que si estos contienen ácidos grasos de bajo peso molecular, el número de moléculas presentes en 1 g de muestra será mayor que si los ácidos grasos son de alto peso molecular. Así, se puede inferir para esta investigación que el peso molecular promedio de los triglicéridos del aceite extraído por fluidos es más bajo que el de extracción soxhlet.

Conclusiones

La extracción por fluidos supercríticos es la técnica más adecuada para la producción de aceite de aguacate, que permitió alcanzar el máximo rendimiento (18,9%), el menor índice de acidez (0,48%), baja oxidación de los ácidos grasos insaturados (16,87 meqO₂/kg,) y mayor índice de yodo (80,18cgl₂/g), cuando se comparó con metodologías de extracción convencionales, demostrándose así que la temperatura elevada que se aplicó en los métodos de extracción convencionales deterioró químicamente el aceite. Los resultados obtenidos para el aceite extraído por FSC fueron mejores que los reportados para muestras comerciales, lo que posibilita el desarrollo de productos con alto valor agregado, como es el caso de la fracción de aceite rica en vitamina E, por medio del uso de esta tecnología emergente y amigable con el medio ambiente

Agradecimientos

A la Corporación Universitaria Lasallista por la financiación del proyecto "Extracción de aceite de aguacate variedad Hass (*Persea americana* Mill), cultivado en Colombia, mediante la tecnología de fluidos supercríticos" en la Convocatoria de mediana cuantía de 2012.

A la Distribuidora de Aguacate Dihass por su participación activa en el proyecto.

A los estudiantes del semillero INNOVA (Catalina Vélez, Carolina Bedoya, Daniela Franco, Paola Cardona, Sara Hincapié, Miller Puerta, Yésica Cano y Carolina Correa) por su valiosa colaboración en los análisis de laboratorio.

Referencias bibliográficas

1. BERGH, Bob & ELLSTRAND, Norm. Taxonomy of the Avocado. En: California Avocado Society. 1986. Vol. 70, p. 1
2. DING, H.; et al. Chemopreventive characteristics of avocado fruit. En: Seminars in Cancer Biology. 2007. Vol. 17, N° 5. p. 386-394.
3. OZDEMIR, F. & TOPUZ, A. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. En: Food Chemistry. 2004. Vol.86, p.79-83.
4. DING, H., CHIN, Y.-W., KINGHORN, A. D. D Ambrosio, S. M. Op.cit., p. 387
5. WANG, W.; BOSTIC, T. R. & GU, L. Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. En: Food Chemistry. October 2010. Vol. 122 N°4, p. 1193-1198.
6. SALAZAR, M. J.; et al. Effect of an avocado oil-rich diet over an angiotensin II-induced blood pressure response. En: Journal of Ethnopharmacology. 2005. Vol. 98, N° 3, p. 335-338.
7. REQUEJO, A. M.; et al. Influence of nutrition on cognitive function in a group of elderly, independently living people. En: European Journal of Clinical Nutrition. 2003. Vol. 57, p. 54-57.
8. RODRÍGUEZ-CARPENA, J. G.; MORCUENDE, D. & ESTÉVEZ, M. Avocado, sunflower and olive oils as replacers of pork back-fat in burger patties: effect on lipid composition, oxidative stability and quality traits. En: Meat science. 2012. Vol. 90, N° 1, p. 106-115.
9. COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Reunión Acuerdo de priorización de demandas de investigación en Aguacate. Bogotá: El Ministerio, 2011. p. 5
10. REED. Avocados: The new wonder oil?. En: Food New Zealand. 2001. Vol. 31. N° 1, p. 20-25
11. ACOSTA, M. C. Evaluación y escalamiento del proceso de extracción de aceite de aguacate utilizando tratamiento enzimático. Tesis de maestría no publicada. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia 2011. p. 40
12. AZADMARD-DAMIRCHI, S.; et al. Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed. En: Food Chemistry. August 2010. Vol. 12, N° 4, p. 1211-1215.
13. GUAN, W.; et al. Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical car-

- bon dioxide and other three traditional extraction methods. En: Food Chemistry. 2007. Vol. 101, N° 4, 1558-156
14. MARTÍNEZ, J. L. Supercritical fluid extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. New York: Taylor & Francis Group. 2008. p. 440.
 15. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. Microbiología de alimentos y de alimentos para animales. Método horizontal para el recuento de coliformes o *Escherichia coli* o ambos. Técnica de recuento de colonias utilizando medios fluorogénicos o cromogénicos. Bogotá: ICONTEC, 2007. 18 p. (NTC 4458)
 16. *Ibíd.*, 18 p.
 17. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. Microbiología. guía general para el recuento de mohos y levaduras. técnica de recuento de colonias a 25 °C. Bogotá: ICONTEC, 1997. 10 p. (NTC 4132)
 18. _____. Microbiología de los alimentos para consumo humano y animal. Método horizontal para el recuento de microorganismos. técnica de recuento de colonias a 30 °C. Bogotá: ICONTEC, 2009. 17 p. (NTC 4519)
 19. _____. Microbiología de alimentos y alimentos para animales. método horizontal para la detección de salmonella spp Bogotá: ICONTEC, 2007. 39 p. (NTC 4574)
 20. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. Official Methods of analysis. 15th Ed. Washington, D. C.: AOAC, 1990.
 21. ARIZA O., A. J.; VALDEZ, L. F. & COYOTL, H. J. 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. En: Revista venezolana de ciencia y tecnología de alimentos, Vol. 2 N.º 2, 2011, p. 263-276.
 22. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. Official Methods of analysis. 26th Ed. Washington, D. C.: AOAC, 2006.
 23. AZADMARD-DAMIRCHI, S., *et al.*; Op. cit., p. 1150
 24. DE LUCAS, A.; *et al.* Supercritical fluid extraction of tocopherol concentrates from olive tree leaves. En: The Journal of Supercritical Fluids. 2002. Vol. 22 N° 3, p. 221-228.
 25. A.O.C.S. Official Method Ca 5a – 40. Free Fatty Acids. Sampling and analysis of commercial fats and oils, 1977.
 26. _____. Official Method Cd 8 – 53. Peroxide Value. Sampling and analysis of commercial fats and oils, 1973.
 27. _____. Official Method Cd 1-25. Iodine Value. Sampling and analysis of commercial fats and oils. 1973.
 28. _____. Official Method Cc 10a-25. Specific Gravity of Oils and Liquid Fats. Sampling and analysis of commercial fats and oils, 1989.
 29. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. Productos Agrícolas. Aguacate spp Bogotá: ICONTEC, 1994. 3 p (NTC 1248)
 30. COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Op.cit. p. 3
 31. BORA PUSHKAR, S.; *et al.* Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits. En: Grasas y Aceites. 2001. Vol. 52 No. 3-4, p.171-174.
 32. ORTIZ, A.; DORANTES, L. y GALÍNDEZ, C. Desarrollo de un proceso para la obtención de aceite de aguacate de alta calidad empleando una tecnología emergente. [En línea]. [Citado el 23 de junio de 2012]. Url disponible en http://www.pncta.org.co/investigaciones_03
 33. *Ibíd.*
 34. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. Zumos (jugos), néctares, purés (pulpas) y concentrados de frutas. Bogotá: ICONTEC, 2007. 28 p. (NTC 5468).
 35. JIMÉNEZ, M. E.; AGUILAR, R. & ZAMBRANO, L. Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. En: Journal of the Mexican Chemical Society. 2001. Vol. 45, N°2, p. 89-92.
 36. ROSENTHAL, D. L. & NIRANJAN, K. Aqueous and enzymatic processes edible oil extraction. United Kingdom: University of Reading - Department of Food Science and Technology, 2008.
 37. ORTIZ, A. DORANTES, L. GALINDEZ, C. Op.cit.
 38. COSTA, Verónica. Extracción enzimática y caracterización del aceite de palta (*Persea americana* Mill). Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2001. p. 13-15.
 39. JIMÉNEZ, M. E.; AGUILAR, R., ZAMBRANO, L. Op. cit. p. 94
 40. ARIZA O., A. J., VALDEZ L., F., COYOTL H, J. Op. cit. p. 268

41. NORMA MEXICANA. Aceites y grasas. aceite de aguacate - especificaciones 2008:p.10 (NMX-F-052- SCFI-2008).
42. ARIZA O., A. J., VALDEZ L., F., COYOTL H, J. Op. cit. p. 270
43. OZDEMIR, F. TOPUZ; Op. Cit. p. 80
44. JIMÉNEZ, M. E., AGUILAR, R., ZAMBRANO, L.; Op. cit. P. 91
45. MÉNDEZ, Ana y FALQUÉ, Elena. Effect of storage time and container type on the quality of extra virgin olive oil. En: Food Control. 2007. Vol. 18, p. 521–529
46. NORMA MEXICANA. Aceites y grasas. Op Cit. p. 8
47. RADY, A. H. & MADKOUR, M. A. Changes in physical and chemical proorties of palm olein during heating. En: Consejo superior de investigaciones científicas. 1995. Vol. 46 N° 4-5, p. 270-275.
48. JIMÉNEZ, M. E., AGUILAR, R., ZAMBRANO, L.; Op. cit. P. 91
49. ACOSTA, M. C.; Op.cit. p. 91
50. MÉNDEZ, Ana y FALQUÉ, Elena; Op.cit. p. 526
51. OZDEMIR, F. TOPUZ, A.; Op. Cit. P. 7
52. MARTÍNEZ, J. L.; Op. Cit. P. 340
53. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. Grasas Y Aceites Comestibles Vegetales y Animales. Definiciones. Bogotá: ICONTEC, 2009. 11 p (NTC 199)
54. JIMÉNEZ, M. E.; AGUILAR, R., ZAMBRANO, L. Op. cit. p. 90
55. RINCÓN, Sandra. Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. En: PALMAS. 2009. Vol. 30. N° 2, p. 11-23
56. MÉNDEZ, Ana y FALQUÉ, Elena; Op.cit. p. 525
57. ARIZA O., A. J.; VALDEZ L., F. & COYOTL H, J.; Op. cit. p. 264.
58. NORMA MEXICANA. NMX Aceites y grasas; Op. cit. p. 8
59. FARHOOSH, Reza; EINAFFSHA, Soodabeh & SHARAYEI, Parvin. The effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils. En: Food Chemistry. 2009. Vol. 115. p. 933-938.
60. BADUI, D. Salvador. Química de los alimentos. Lípidos. 4ª ed. México: Pearson Education, 2006. 702 p.