



Una aportación para el fomento de la biodiversidad y producción del aguacate criollo: Estudio de las propiedades térmicas y de fase de los aceites extraídos de su cáscara, pulpa y semilla

A contribution to the promotion of biodiversity and production of Creole avocado: Study of the thermal and phase properties of the oils extracted from its peel, pulp and seed

Julio Alberto Solís-Fuentes*¹, Anat Abigail González-Rodríguez², María del Rosario Hernández-Medel¹, Pliego-Cerdán, Caroline, I.², Rolando S. García-Gómez³, Marisela Bernal-González³, María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa³

(1) Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Básicas,
Av. Dos Vistas s/n carretera Xalapa-Las Trancas, 91000 Xalapa, Ver., México

Fax (+52) 22- 8841-8931. Correo-e (*e-mail*): jsolis@uv.mx

(2) Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas-Xalapa,
Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán, Xalapa, Ver., México

(3) UNAM, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química,
Conjunto "E", Laboratorios 301-302-303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental,
Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México
Fax (+52) 55-5622-5300. Correo-e (*e-mail*): mcduran@quimica.unam.mx

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia / *Author to whom correspondence should be addressed*

Recibido / *Received*: Enero / *January* 15, 2024

Aceptado / *Accepted*: Febrero / *February* 14, 2024 (Número 1, enero-junio / *Number 1, January-June*)

Resumen

En este trabajo se realizó un estudio sobre las propiedades térmicas y de fase de los aceites extraídos de la cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*), como contribución al conocimiento de esta importante variedad autóctona de México, apoyar y estimular su mayor cultivo, producción y consumo y fomentar la biodiversidad. Se extrajeron con disolvente hexano los aceites de las tres porciones de la fruta y se analizaron en sus rendimientos, composición y propiedades, químicas, térmicas y de fase, mediante las técnicas oficiales de análisis, espectroscopia FT-IR, cromatografía de gases/masas, TGA y DSC. Los resultados mostraron que la cáscara, pulpa y semilla de esta fruta constituyeron el 8.93, 58.1 y 31.1%, en masa, del fruto, con rendimientos de aceite de 6.07 ± 0.85 , 34.91 ± 3.26 y $1.00 \pm 0.19\%$ (bs), respectivamente, y valores de saponificación de 173.59 ± 8.39 , 163.28 ± 2.50 y 181.74 ± 12.73 mg de KOH/g de aceite. Los aceites tuvieron predominantemente AG's insaturados, siendo el oleico el mayoritario en los aceites de cáscara (45.52%) y pulpa (42.58%) y el linoleico en el de semilla (23.31%). El TGA mostró varias etapas de descomposición de las muestras, con una etapa inicial que removió compuestos volátiles presentes en esta variedad de aguacate a temperaturas iniciales menores a 120°C y temperaturas iniciales de descomposición de la mezcla de TG de los aceites a 290.4, 220 y 150°C para los de cáscara, pulpa y semilla, respectivamente. El análisis DSC mostró las transiciones de fase S/L y la predominancia de las fases líquidas a las temperaturas en los intervalos propios de las condiciones ambientales y corporales.

Palabras clave: Aguacate criollo, aceite de pulpa, aceite de cáscara, aceite de semilla, TGA, DSC

Abstract

*In this work, a study on the thermal and phase properties of the oils extracted from the peel, pulp and seed of Creole avocado (*Persea americana* var. *drymifolia*), was carried out, as a contribution to the knowledge of this important native variety of Mexico, to support and stimulate its greater cultivation, production and consumption and promote biodiversity. The oils from the*

three portions of the fruit were extracted with hexane, and their yields, composition, and chemical, thermal, and phase properties were analyzed using official analysis techniques, FT-IR spectroscopy, gas/mass chromatography, TGA and DSC. The results showed that the peel, pulp and seed of this fruit constituted 8.93, 58.1 and 31.1%, by mass, of the fruit, with oil yields of 6.07 ± 0.85 , 34.91 ± 3.26 and $1.00 \pm 0.19\%$ (bs), respectively, and saponification values of 173.59 ± 8.39 , 163.28 ± 2.50 and 181.74 ± 12.73 mg of KOH/g of oil. The oils had predominantly unsaturated FAs, with oleic being the majority in the peel (45.52%) and pulp (42.58%) oils, and linoleic in the seed (23.31%). The TGA showed several stages of decomposition of the samples, with an initial stage that removed volatile compounds present in this avocado variety at initial temperatures below 120°C and initial decomposition temperatures of the TG mixture of the oils at 290.4 , 220 and 150°C for the peel, pulp and seed, respectively. The DSC analysis showed the S/L phase transitions and the predominance of the liquid phases at temperatures in the ranges typical of environmental and body conditions.

Keywords: Creole avocado, pulp oil, peel oil, seed oil, TGA, DSC

Introducción

Persea americana es una de las plantas alimenticias tropicales más antiguas. Originaria de América posee 8 eco-tipos bien definidos de los cuales *P. americana* var. *drymifolia*, Schltdl. & Cham, es junto con *P. americana* var. *americana* y *P. americana* var. *guatemalensis* de las tres razas hortícolas que sirven de base para la obtención de un gran número de variedades híbridas (Bergh, 1992; Galindo-Tovar y Arzate-Fernández, 2010). Son los tipos de aguacate híbrido los que actualmente integran la mayor superficie cultivada y producción comercial de aguacate en el mundo.

P. americana var. *drymifolia*, conocido también como aguacate criollo, es una raza de aguacate autóctona de México. Es un pequeño fruto que se cultiva en las tierras altas de México, Chile, California y algunos lugares de Europa y África y es apreciado y consumido en muchos otros lugares del mundo por su característico aroma y sabor, definido como anisado (Gupta et al., 2018).

En términos generales, el aguacate es una fruta apreciada en todo el orbe no solamente por sus cualidades organolépticas sino también por sus características nutricias. De los diversos constituyentes químicos que posee el aguacate, sus fracciones lipídicas son las de mayor relevancia. Actualmente es casi universalmente conocido que el aceite de aguacate tiene beneficiosas propiedades que han impulsado significativamente su producción y consumo en fresco, así como los esfuerzos encaminados a su industrialización, conservación y desarrollo de productos basados principalmente en la pulpa y el aceite de aguacate.

Dada su progresiva aceptación en el consumo en los mercados interno y externo debido a sus características organolépticas; así como al progresivo conocimiento de sus cualidades nutricias y funcionales, en los últimos años el aguacate ha venido a ocupar un lugar destacado en el cultivo y comercio de frutas a nivel mundial. En 2012 la producción mundial de aguacates fue de alrededor de 4.31 millones de toneladas duplicándose en solamente 10 años a 8.68 millones (2021) siendo el continente americano la región de mayor producción (72.7%) en el mundo, seguido por África y Oceanía (FAOSTAT, 2023). Especialmente en México su cultivo y producción ha crecido de un modo significativo, de 1.31 millones de toneladas en 2012 a 2.44 millones de toneladas para 2021, el 28.11% del total mundial (FAOSTAT, 2023; INEGI, 2022), ubicando a México como el mayor productor seguido por República Dominicana, Perú, Indonesia y Colombia (Estrada Rivera, 2019). Desde la perspectiva económica el aguacate es actualmente, en México, un relevante producto de exportación, generando ingresos y divisas en montos importantes que han llevado a ser considerado como un verdadero "oro verde" (Lazos-Ruiz et al., 2018). Esto ha llevado también a que su cultivo experimente altas tasas de crecimiento anual principalmente de la variedad híbrida Hass, actualmente el aguacate de mayor aceptación comercial.

Es importante destacar que en las regiones productoras de las variedades híbridas de aguacate y en muchas otras, su fomento ha llevado a socavar la biodiversidad natural regional al desplazar no solamente bosques y otros cultivos de mayor tradición, sino también a variedades de aguacate endémicas, como la var. *drymifolia* o criolla (la producción total de aguacate criollo en México para

2017 fue de solamente 46,700 toneladas con diversas consecuencias socioeconómicas y ambientales (Lazos-Ruiz et al., 2018). En México la variedad Hass cubre más del 90% de la superficie cultivada de aguacate (Torres-Gurrola et al., 2009)

Como es sabido, la biodiversidad es un factor fundamental en las posibilidades de prevalencia del planeta y en los afanes de la humanidad de lograr un desarrollo sostenible, accesible e igualitario para todos los individuos que lo habitan. La Agenda 2030 de Naciones Unidas destaca en varios de sus objetivos del desarrollo sostenible, ODS (Naciones Unidas, 2019), un conjunto de planteamientos para solventar y resolver problemas que atañen a toda la sociedad mundial puesto que su existencia, correlación y tendencia ha sido y es lacerante para grandes grupos de la población del mundo y un riesgo para la *salud* natural de la tierra (Solís-Fuentes, 2021). En este esfuerzo de planificación integral del desarrollo futuro de la humanidad, la diversidad biológica viene a ser condición necesaria para el logro de gran parte de los ODS y para la garantía de sustentabilidad del desarrollo planetario.

El estilo de desarrollo capitalista actual, atrincherado en una economía productivista y basada en el funcionamiento y estructuración de un mercado global, conserva en el sector agroalimentario, elementos estructurales que requieren profundas modificaciones en los diferentes sectores productivos para alinear los esfuerzos hacia la consecución exitosa de los ODS. En este sector agroalimentario persiste la tendencia concentradora de las grandes empresas multinacionales donde menos de 500 empresas controlan en el mundo el 70% de la oferta de alimentos en un contexto de alrededor de 1500 millones de productores y una población de más 7000 millones de personas, imponiendo patrones de consumo de alimentos, poseyendo y controlando la tecnología, la tierra, el capital, etc., de todos los eslabones de la cadena productiva alimentaria en sus corporaciones (Oxfam, 2013; Solís Fuentes, 2021).

Puede decirse que en el sector primario, especialmente en los países en desarrollo, como México, es vigente todavía la economía de plantación de monocultivos (Girvan, 2008); esto es, la producción en grandes extensiones de productos orientados generalmente a la exportación, como sucedió históricamente en regiones de clima cálido ligadas a la caña de azúcar, el tabaco, algodón, etc. (y que es hoy en día el caso de algunas oleaginosas y el aguacate) que surgen y se desarrollan en la actualidad sin considerar o atender convenientemente problemáticas sociales, ambientales, laborales, etc., locales regionales o nacionales, generadas por este modo de producción (Lazos-Ruiz et al., 2018; Solís Fuentes, 2021; Sánchez-Jiménez y Ángel-Osorio, 2022).

En el aspecto ambiental es claro el impacto de las plantaciones, como un uso intensivo de la tierra y agua, utilización de tecnologías propias de la llamada revolución verde (fertilizantes, herbicidas y otros plaguicidas, etc.) con el consecuente deterioro de la diversidad biológica local (Estrada-Rivera, 2019); así como diversos efectos sobre las estructuras económicas locales y nacionales que se contraponen en muchos aspectos con los escenarios deseables inmersos en varios de los objetivos del desarrollo de la agenda 2030. Entre otros efectos, están los destacados por Rivera y Challioux-Laffita (2008), como el acaparamiento de los recursos materiales y humanos para la producción de uno o dos artículos exportables por unos cuantos propietarios, la inflexibilidad productiva para hacer frente a los cambios de coyuntura en el mercado y a los desastres climáticos; la sobreexplotación de la fuerza de trabajo y, en muchos casos, la tendencia indetenible a la declinación, el inmovilismo tecnológico y una rígida estratificación social (Solís-Fuentes y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2022).

La expectativa que actualmente presenta el cultivo y producción de aguacates criollos en México no es alentadora, puesto que en los últimos años su estado de conservación es muy precario, y la superficie cultivada original disminuye paulatinamente por diversas razones atribuibles a las dinámicas de los cambios en la agricultura, ganadería y crecimiento urbano, pero sobre todo a la sustitución de los cultivares criollos tradicionales por cultivares mejorados. El éxito comercial en el mercado internacional de estos últimos ha resultado en su predominio en las regiones de alta producción de aguacate en el

mundo. Una de las medidas adoptadas en México, aparentemente insuficiente, para contrarrestar esta tendencia ha sido el establecimiento de bancos de germoplasma (Corrales-García y Méndez-Zúñiga 2020). Otra de las posibles rutas, sujeta a explorar en el futuro para el fomento y rescate de esta riqueza fitogenética sería la generación de un mayor conocimiento y su difusión, de las características, propiedades y potencialidades alimentarias, nutricias, medicinales, etc., de esta planta. Un mayor conocimiento de sus propiedades, un uso extendido, una mejor valoración y una demanda creciente de *P. americana* var. *drymifolia* en los mercados puede propiciar su mayor cultivo y producción (Corrales-García y Méndez-Zúñiga 2020; Solís-Fuentes et al., 2023).

Diversos autores han abordado la investigación de la variedad *drymifolia* principalmente sobre la actividad de los compuestos volátiles en la hoja (Bravo-Monzon y Espinosa-García, 2008; Niogret et al., 2013; Rincón-Hernández et al., 2011; Sagrero-Nieves y Bartley, 1995; Torres-Gurrola et al., 2011) y composición de lípidos y antioxidantes en el fruto y sus diferentes porciones anatómicas (Corrales-García et al., 2019; Ochoa-Zarzosa et al., 2021; Ramos-Aguilar et al., 2021a,b).

Aunado a lo anterior y, ante las crecientes necesidades sociales de incrementar la oferta de materias primas generadoras de grasas y aceites vegetales utilizados industrialmente para la producción de diversos bienes de consumo en las industrias alimenticia, farmacéutica, cosmética, etc., se ha hecho evidente la necesidad de incrementar la investigación sobre las denominadas fuentes alternativas o no convencionales de grasas y aceites. En este sentido, la inclusión de las porciones tradicionalmente comestibles o no comestibles de los diversos productos vegetales ha mostrado importantes posibilidades como fuentes potenciales de grasas y aceites.

La investigación de la calidad de los aceites vegetales requiere frecuentemente el conocimiento de algunas de sus propiedades físicoquímicas que brindan información esencial para evaluar su potencial uso (alimentario, farmacéutico, industrial, etc.), donde estos estudios analíticos se refieren básicamente a su composición, algunas otras propiedades físicoquímicas y sus estabilidades térmicas (Freitas et al., 2017; Haque-Akanda et al 2020).

Dentro de todas estas propiedades, son de importancia las que se refieren al comportamiento térmico y las transformaciones de fase que sufre un aceite durante calentamiento doméstico o industrial. Así, este trabajo estudió el comportamiento de las fases sólida y líquida en función de la temperatura y la estabilidad térmica en condiciones de ausencia y presencia de oxígeno de los aceites extraídos de la cáscara, pulpa y semilla del aguacate criollo.

Materiales y métodos

Obtención de muestras de aguacate criollo

Los frutos de aguacate criollo provinieron de huertas del municipio de Jalacingo en el centro del Estado de Veracruz, México (19.80504, -97.30805) y adquiridos en la ciudad de Xalapa. Estos fueron seleccionados tomando en consideración su estado de maduración fisiológica, así como en su apariencia física, consistencia al tacto, color en el endocarpio y mesocarpio: Firme, oscuro y verde brillante, respectivamente (Figura 1 y Tabla 1).

Características físicas de la fruta

Para analizar las propiedades físicas del aguacate se utilizaron frutos con características de maduración fisiológica similares, aunque con variaciones evidentes en cuanto a su longitud, masa del fruto entero, masa de la pulpa, masa de la semilla y masa de la cáscara. Se evaluaron: Longitud, diámetro en su parte más ancha y masa total del fruto; masa del endocarpio, mesocarpio y epicarpio (semilla, pulpa y cáscara). Para la medición de la masa del fruto y sus partes se utilizó una balanza analítica digital Ohaus Pioneer modelo Pa124.

Análisis químico de la cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo

El análisis químico realizado fue para determinar y analizar componentes importantes del fruto y sus porciones: Humedad, grasa, cenizas, fibra cruda, proteínas y carbohidratos, se utilizaron los métodos de análisis oficiales de la AOAC (Horwitz, 2010; Pliego-Cerdán, 2021).



Figura 1. Imágenes de aguacate criollo, cáscara, pulpa, semilla y sus aceites (González-Rodríguez, 2017)

Extracción, purificación y caracterización fisicoquímica de aceites

Los aceites de las diferentes porciones de aguacate criollo se extrajeron de cada una de las muestras de las porciones previamente deshidratadas (hasta un contenido de humedad de aproximadamente 10%) con el disolvente hexano en un aparato Soxhlet. Las extracciones se realizaron en varias corridas usando en cada caso proporciones de 1 g de muestra/100 mL de disolvente. Las micelas resultantes se procesaron en un evaporador rotatorio para recuperar los aceites.

Los aceites crudos fueron purificados usando una modificación del método de Wesson (Melenbacher, 1960), descrito en Solís-Fuentes y Durán de Bazúa (2004). Brevemente, el aceite obtenido se disolvió en éter de petróleo en una relación de 1:5 (m/v). Al aceite disuelto se le añadió hidróxido de potasio al 14% (1 mL de KOH por gramo de aceite disuelto) con agitación vigorosa durante 3 minutos. Posteriormente, se añadió alcohol etílico al 50% en una proporción de 1:2.5 (m/v) mientras se agitaba, luego se dejó reposar la mezcla hasta la separación de fases. La fase etérea contenía la fracción grasa neutra. La fase de alcohol de jabón se volvió a extraer repetidamente con éter. Finalmente, los extractos etéreos se procesaron en rotavapor para recuperar la fracción oleosa purificada.

Las muestras de aceite purificado fueron colocadas en recipientes de vidrio y almacenadas en condiciones de refrigeración (-5°C) y protegidas de la luz, hasta su análisis y/o posterior procesamiento. Las diferentes muestras de aceite purificado fueron analizadas para determinar su índice de refracción, ácidos grasos libres, índice de acidez e índice de saponificación utilizando las técnicas de análisis oficiales (Horwitz, 2010).

Espectroscopía infrarroja (FTIR) de aceite de semilla, pulpa y cáscara de aguacate

Se utilizó un espectrofotómetro Perkin-Elmer SpectrumTwo FT-IR. Los datos con este instrumento fueron recolectados en el rango de 600 a 4000 cm^{-1} y fueron procesados con el software Spectrum del mismo instrumento. En el caso de estas muestras líquidas, su análisis IR no requirió preparación previa.

Análisis de la composición de ácidos grasos de los aceites

Los ésteres metílicos de ácidos grasos se prepararon por saponificación del aceite purificado extraído de la cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo mexicano y se realizó una metilación catalizada por ácido, utilizando una solución alcohólica de KOH al 2.5% y una solución de metanol al 2% de H_2SO_4 , respectivamente (Anu y Rao, 2001).

Para el análisis de los ácidos grasos constituyentes de los acilglicerol de los respectivos aceites, se utilizó un cromatógrafo de gases Pegasus® III GC-TOFMS (LECO), equipado con una columna Agilent DB5, 121-5022, 20m x 0.18mm x 0.18 μm , el espectrómetro de masas provisto de un detector de barrido de espectro completo (SCAN) de 50 a 500 -m/z. El aparato tuvo un software ChromaTOF®. Las condiciones de operación en el cromatógrafo fueron, temperatura inicial de 40°C por 3 min con una velocidad de calentamiento de 20°C/min hasta 300°C por 5 min. El gas portador fue helio a 1.0 mL/min, la temperatura del inyector fue de 300°C y se utilizó una fuente de ionización de impacto electrónico.

Estabilidad térmica de los aceites de aguacate

La estabilidad térmica de los aceites se analizó mediante termogravimetría en atmósferas de nitrógeno y aire utilizando una balanza TA Instruments Q5000 IR TGA, usando portamuestras de alúmina. Los cambios de masa se monitorearon en un rango de trabajo de 25 a 1000 °C, a 10 °C/min, obteniéndose datos y gráficos de TG y DTG. La captura de los datos en código ASCII permitió analizar y editar gráficamente los resultados en el software Origin (OriginLab. 2007).

Comportamiento de fase de los aceites de semilla, pulpa y cáscara de aguacate

Las muestras de aceite de las diferentes porciones de aguacate criollo se analizaron en un calorímetro diferencial de barrido TA Instruments DSC Q2000 equipado con una estación de análisis de datos TA Universal Analysis. El gas de purga fue nitrógeno a un flujo de 50 mL/min. El instrumento fue calibrado con Indio (punto de fusión, 156.6 °C; ΔH_f , 28.45 J/g). Se pesaron entre 2 y 12 mg de muestra en termobalanza (TA Instrument) en cápsulas de aluminio SFI con una precisión de 0.1 mg y se sellaron herméticamente. Se utilizó como referencia una cápsula vacía y sellada.

Cada una de las muestras se calentó a 90 °C con una isoterma de 5 minutos para destruir su historial térmico. Para analizar el comportamiento térmico del aceite se obtuvo lo siguiente:

Perfil de cristalización: La muestra se calentó a 90 °C por 5 min y se enfrió a 5 °C/min hasta -80 °C para registrar el perfil de cristalización, entalpías de cristalización y las temperaturas de inicio y compensación de los cambios de fase.

Perfil de fusión: la muestra se calentó desde -80 °C a 5 °C/min hasta 90 °C, se registró el perfil de fusión, la entalpía, las temperaturas de inicio y compensación de los cambios de fase.

Contenido de grasa sólida de los aceites de aguacate

Dado que el contenido de grasa sólida depende de la temperatura y de la cantidad de sólidos en las muestras de aceite, en función de esta variable se calculó con base en los experimentos realizados en el calorímetro diferencial de barrido (*DSC* en inglés), según la metodología y ecuación 1 descrita por Lambelet y Raemy (1983) y con el uso del paquete informático Origin (OriginLab. 2007).

$$\%Sólidos(T) = \frac{\int_{T_0}^T H(T)dT}{\int_{T_0}^{T_1} H(T)dT} \quad (1)$$

La ecuación 1 representa la integración secuencial de la curva de fusión desde el inicio de la transición T_0 hasta la temperatura T (numerador) normalizando los valores al área total en la curva (denominador). Se calcularon las áreas parciales considerando que a -80 °C las muestras de aceite son prácticamente 100 % sólido.

Análisis estadístico

Se midieron la media y la desviación estándar de al menos dos réplicas. Se calculó el análisis de varianza, andeva (*ANOVA* en inglés) de una vía, a $\alpha = 0.05$ y la prueba de Tukey para la comparación de medias con el software Minitab, versión 19 (Minitab, Inc. StateCollege, PA, EE. UU.).

Resultados y discusión

Caracterización física del aguacate criollo y sus porciones

Las muestras estudiadas de aguacate oloroso (*Persea americana* Mill var. *drymifolia*) fueron frutos fisiológicamente maduros, de piel oscura, pulpa verde brillante y aroma fuerte y característico. Los aguacates tuvieron una longitud promedio de 7.27 ± 1.16 cm, tamaño intermedio para esta variedad ya que se han reportado datos para este tipo de aguacate que van desde 4 a 12 cm de longitud (Campos-Rojas et al., 2011). Las medidas tomadas para el diámetro más ancho del fruto (diámetro ecuatorial) tuvieron, en promedio, 6.9 ± 0.58 cm.

Las semillas en estos frutos tuvieron un tamaño importante del fruto registrando una longitud de 5.16 ± 0.71 cm con un diámetro de 4.47 ± 0.53 cm (Tabla 1). La Tabla 1 muestra también la masa promedio de los aguacates criollos y la de cada una de sus partes: Cáscara, pulpa y semilla. En promedio, un fruto completo tuvo una masa de 55.85 ± 15.85 g. Tamaño pequeño en comparación con otras variedades de importancia comercial como el aguacate Hass cuyas masas varían entre 120 y 500 g (SAGARPA, 2017).

La cáscara del aguacate criollo se caracteriza por ser capa muy fina, tersa y brillante; la masa promedio obtenida para esta parte fue de 4.98 ± 1.72 g (8.93% de fruto completo). La pulpa, que es la parte tradicionalmente comestible del aguacate, tuvo un promedio de 32.45 ± 10.53 g (58.1%) y la semilla en esta variedad de aguacate tuvo una masa promedio de 17.39 ± 5.76 g (31.15%).

Tabla 1. Características físicas del aguacate criollo y sus porciones

| Porción anatómica | Promedio \pm desviación estándar | | | % |
|-------------------|------------------------------------|-----------------|-------------------|-------|
| | Longitud, cm | Diámetro, cm | Masa, g | |
| Fruto | 7.27 ± 1.16 | 6.9 ± 0.58 | 55.85 ± 15.82 | 100 |
| Cáscara | - | - | 4.98 ± 1.72 | 8.93 |
| Pulpa | - | - | 32.45 ± 10.53 | 58.10 |
| Semilla | 5.16 ± 0.71 | 4.47 ± 0.53 | 17.39 ± 5.76 | 31.15 |

Análisis aproximado de las diferentes porciones del aguacate criollo

La Tabla 2 presenta los resultados del análisis aproximado de la cáscara, pulpa y semilla de la variedad *drymifolia* donde se hacen evidentes las diferencias en composición de estas tres partes constitutivas del fruto como un mayor contenido de aceite en la pulpa (34.9%), seguido de la cáscara (6.07%) y un porcentaje bajo en la semilla (1.0%). Estos resultados están entre los rangos reportados por Acosta Díaz et al. (2019) para el contenido de aceite de la pulpa de 37 genotipos de aguacate criollo (30.30-

69.7%) cultivados en la región norte de México y para el contenido de aceite en la semilla (0.99-2.05%) de accesiones de aguacate criollo cultivadas en China (Ge *et al.*, 2018).

Del contenido de aceite en la cáscara de esta variedad de aguacate no se encontraron reportes en la literatura. Diferencias importantes son una mayor cantidad lípidos en la pulpa y de fibra cruda (15.17%) en la cáscara con respecto de las demás porciones, además de un alto contenido del extracto libre de nitrógeno en la semilla (85.4%). La cáscara y la pulpa, partes comestibles comúnmente consumidas juntas debido a la fragilidad de la cáscara y su sabor y aroma anisados compartidos, mostraron ser estadísticamente semejantes en sus contenidos proteínicos en niveles nutricionalmente importantes.

Tabla 2. Análisis químico aproximado de cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo

| Propiedad | Promedio \pm desviación estándar | | |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Cáscara | Pulpa | Semilla |
| Humedad, % | 69.06 \pm 1.42 ^a | 79.83 \pm 0.43 ^b | 66.23 \pm 0.68 ^c |
| Cenizas, % (bs) | 7.05 \pm 0.22 ^a | 8.69 \pm 0.61 ^b | 2.84 \pm 0.14 ^c |
| Grasa cruda | 6.07 \pm 0.85 ^a | 34.91 \pm 3.26 ^b | 1.00 \pm 0.19 ^c |
| Proteína | 6.92 \pm 1.27 ^a | 5.39 \pm 0.08 ^a | 3.26 \pm 0.02 ^b |
| Fibra cruda | 15.17 \pm 2.72 ^a | 4.90 \pm 0.75 ^b | 3.75 \pm 0.51 ^b |
| ELN | 49.62 | 41.21 | 85.40 |

Medias en cada renglón que no comparten la misma letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Propiedades fisicoquímicas de los aceites de cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo

La Tabla 3 presenta algunas características físicas y químicas importantes de los aceites estudiados. Es observable la cercanía en las propiedades estudiadas entre los tres aceites; de hecho, el valor de saponificación, que da una idea de la masa molecular promedio de todos los ácidos grasos presentes (de entre 163 y 181 mg de KOH/mg de aceite) no presentó diferencias significativas entre los 3 aceites. Los valores determinados del índice de refracción, índice de peróxido, acidez y ácidos grasos libres se muestran en la Tabla 3 para los aceites extraídos de la cáscara, pulpa y semilla.

Tabla 3. Propiedades físicas y químicas del aceite extraído de las diferentes partes del aguacate criollo

| Propiedad | Porción anatómica | | |
|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Cáscara | Pulpa | Semilla |
| Índice de refracción | 1.4716 \pm 0.00006 ^b | 1.4644 \pm 0.00026 ^a | 1.4859 \pm 0.00006 ^c |
| Valor de saponificación * | 173.59 \pm 8.39 ^a | 163.28 \pm 2.50 ^a | 181.74 \pm 12.73 ^a |
| Índice de peróxido** | 0.35 \pm 0.01 ^b | 0.17 \pm 0.03 ^a | 0.44 \pm 0.02 ^c |
| Valor de acidez *** | 1.31 \pm 0.05 ^b | 1.66 \pm 0.04 ^a | 2.20 \pm 0.06 ^c |
| Ácidos grasos libres **** | 0.66 \pm 0.02 ^b | 0.83 \pm 0.02 ^a | 1.11 \pm 0.03 ^c |

*En mg de KOH/ g de aceite; ** en mEq O₂/kg; ***en mg de NaOH/g de aceite; **** en g/100 g

Medias en cada renglón que no comparten la misma letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

Composición de los aceites de la cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo

La Figura 2 presenta los espectros *FTIR* de los aceites extraídos de la cáscara (A), pulpa (B) y semilla (C) del aguacate criollo mexicano. Se destacan en general las coincidencias de las principales bandas de los grupos característicos de los aceites vegetales. Así las vibraciones de los enlaces -OH se ubican entre 3490 y 3280 cm⁻¹; la banda de 3007 cm⁻¹ corresponde a vibraciones simétricas de extensión =C-H de los alquenos (enlace olefínico) existentes en las cadenas largas de los aceites. Las vibraciones de las extensiones C-H, tanto simétricas como asimétricas, se caracterizan por las bandas 2922 y 2853 cm⁻¹, y la banda correspondiente a 1745 es para los grupos carbonilo de los ésteres de triacilglicerol y/o fosfolípidos presentes en los aceites analizados (Castorena-García *et al.*, 2011). La región entre 1400 y 1000 cm⁻¹ es la correspondiente a la huella digital de las vibraciones C-P-C, C-O-C y C-C de los lípidos.

La Tabla 4 muestra la composición en ácidos grasos (AG) de los aceites extraídos de la cáscara, pulpa y semilla de las muestras de aguacate *draymifolia*, estudiadas. El ácido oleico fue el predominante en los aceites de cáscara y pulpa (45.52 y 42.58%, respectivamente), seguido por palmítico y linoleico (17.85 y 11.52%, respectivamente) además de esteárico, en la pulpa, y palmitoleico y linoleico en ambos aceites. En general, se observa una semejanza en el patrón de AG en los aceites de estas dos porciones anatómicas de esta variedad de aguacate.

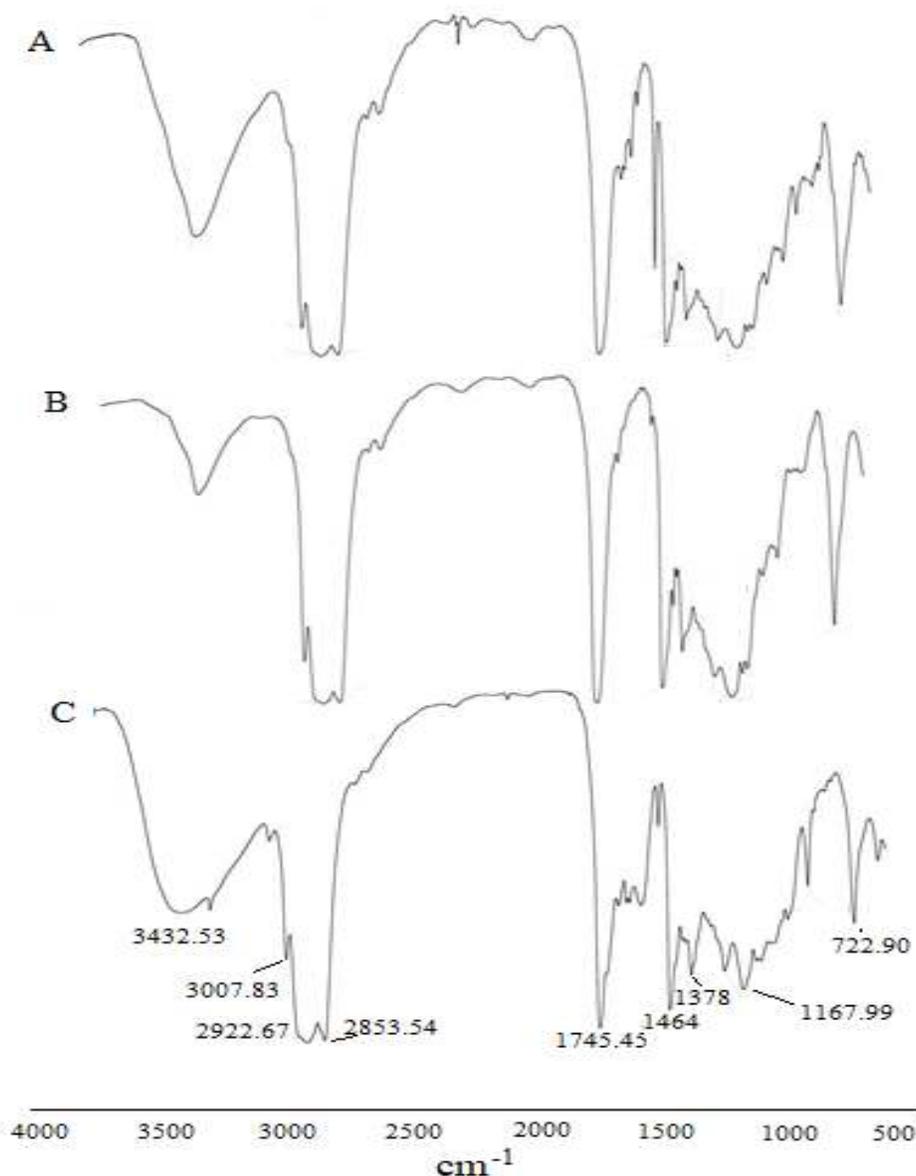


Figura 2. Espectros *FTIR* de aceites extraídos de A: cáscara, B: pulpa y C: semilla, de aguacate criollo

Tabla 4. Ácidos grasos mayoritarios* en aceites extraídos de cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo

| Ácido graso | Porción anatómica | | | | |
|--------------|-------------------|--------------|---------------------------|--------------|------------------|
| | Cáscara | Pulpa | | Semilla | |
| | Este trabajo | Este trabajo | Acosta-Díaz et al. (2019) | Este trabajo | Ge et al. (2018) |
| Mirístico | - | - | - | - | 1.76 |
| Palmítico | 17.85 | 11.52 | 16.87-20.74 | 23.1 | 23.54 |
| Esteárico | - | 6.74 | 0.68-0.96 | 5.14 | 3.01 |
| Palmitoleico | 4.46 | 5.26 | 4.70-8.59 | 2.58 | 5.78 |
| Oleico | 45.52 | 42.58 | 44.19-55.04 | 18.85 | 16.23 |
| Linoleico | 2.62 | 5.05 | 15.77-17.60 | 23.31 | 40.14 |
| Linolénico | - | - | 0.88-1.60 | 11.70 | 4.63 |
| NI** | 29.55 | 28.85 | 5.12-7.03 | 15.53 | 4.91 |

*En % del total de AG; **No identificados o considerados

No se encontraron en la literatura referencias respecto de la composición del aceite de cáscara, aunque sí de la composición del aceite de pulpa de este tipo de aguacate, como lo reportado por Acosta-Díaz et al. (2019) y Sánchez-Albarrán et al. (2019), al estudiar diferentes cultivares de esta variedad de la región norte de México, mostrándose algunos de ellos en los datos de la Tabla 4 destacando la variabilidad en sus composiciones derivada del tipo de cultivar, suelo, condiciones climáticas, etc. En el caso del aceite extraído de la semilla del aguacate, los AG mayoritarios fueron el linoleico (23.31%) y el palmítico (23.1) seguido de oleico y linolénico, esteárico y palmitoleico, ponderación relativa de AG semejante a la determinada por Ge et al. (2018), para el aceite de semilla de algunos cultivares de aguacate criollo en China. En todos los casos es evidente el predominio de los AG insaturados sobre los correspondientes saturados.

Análisis termogravimétrico de los aceites extraídos de la cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo

La estabilidad térmica de los aceites se muestra en la Figura 3 donde se observan las curvas TG y DTG (triacilglicerol y su análisis termogravimétrico, por sus siglas en inglés, *derivative thermogravimetry*) para la descomposición de los aceites extraídos de las diferentes porciones del aguacate criollo en función de la temperatura y de la atmósfera oxidante o inerte, suministradas a las muestras. La Tabla 5 presenta los datos termogravimétricos derivados de ellas: Los porcentajes de pérdida de masa y las etapas y velocidades de descomposición a las diferentes temperaturas de los aceites durante su calentamiento; lo que muestra el efecto de las condiciones de calentamiento en los aceites extraídos de las diferentes porciones del aguacate criollo permitiendo describir el proceso de descomposición por el calor suministrado de sus diferentes componentes y, por ende, la estabilidad térmica de los aceites.

El proceso de descomposición mostró una dependencia importante de las condiciones del tratamiento térmico: Atmósfera inerte (en nitrógeno) u oxidante (en aire) y de la porción de la cual fue extraído el aceite. En general, el proceso de descomposición de los aceites sucedió en un mayor número de etapas bajo condiciones oxidantes. Así, para el aceite de cáscara y pulpa el proceso incluyó 4 etapas de descomposición para cada uno y en atmósfera inerte entre 2 y 3 etapas. Por lo general, la primera etapa corresponde al proceso de eliminación de restos de agua y de algunos de los compuestos volátiles que esta variedad de aguacate posee de manera destacada en diferentes porciones de la planta, en las hojas y en las diferentes porciones del fruto como ha sido estudiado por diversos investigadores (Bravo-Monzon y Espinosa-García, 2008; Solís-Fuentes et al., 2023; Torres-Gurrola et al., 2011), observándose temperaturas iniciales de descomposición a 101°C para el de cáscara y de 105.1°C para el de pulpa, con un pico de máxima velocidad de descomposición durante esta etapa I de 175°C en el caso de la pulpa. La segunda etapa corresponde propiamente a la descomposición de los acilglicerol, la cual sucedió para el aceite de cáscara entre 310.6 y 447.5°C en condiciones inertes y entre 290.4 y 380.4°C en aire; para el aceite de pulpa estos intervalos de temperatura fueron

de 229 a de 488.7°C y de 220 a 385°C, respectivamente, lo que muestra una buena estabilidad térmica para ambos aceites.

En el caso del aceite extraído de la semilla del aguacate los resultados obtenidos son un poco diferentes a los descritos. El proceso completo requirió 5 etapas en cada una de las condiciones atmosféricas consideradas, iniciándose la descomposición a temperaturas menores a las observadas en las de cáscara y pulpa, atribuibles en la etapa 1 a la posible presencia en las muestras de aceite de semilla de compuestos volátiles o de restos de disolvente de extracción.

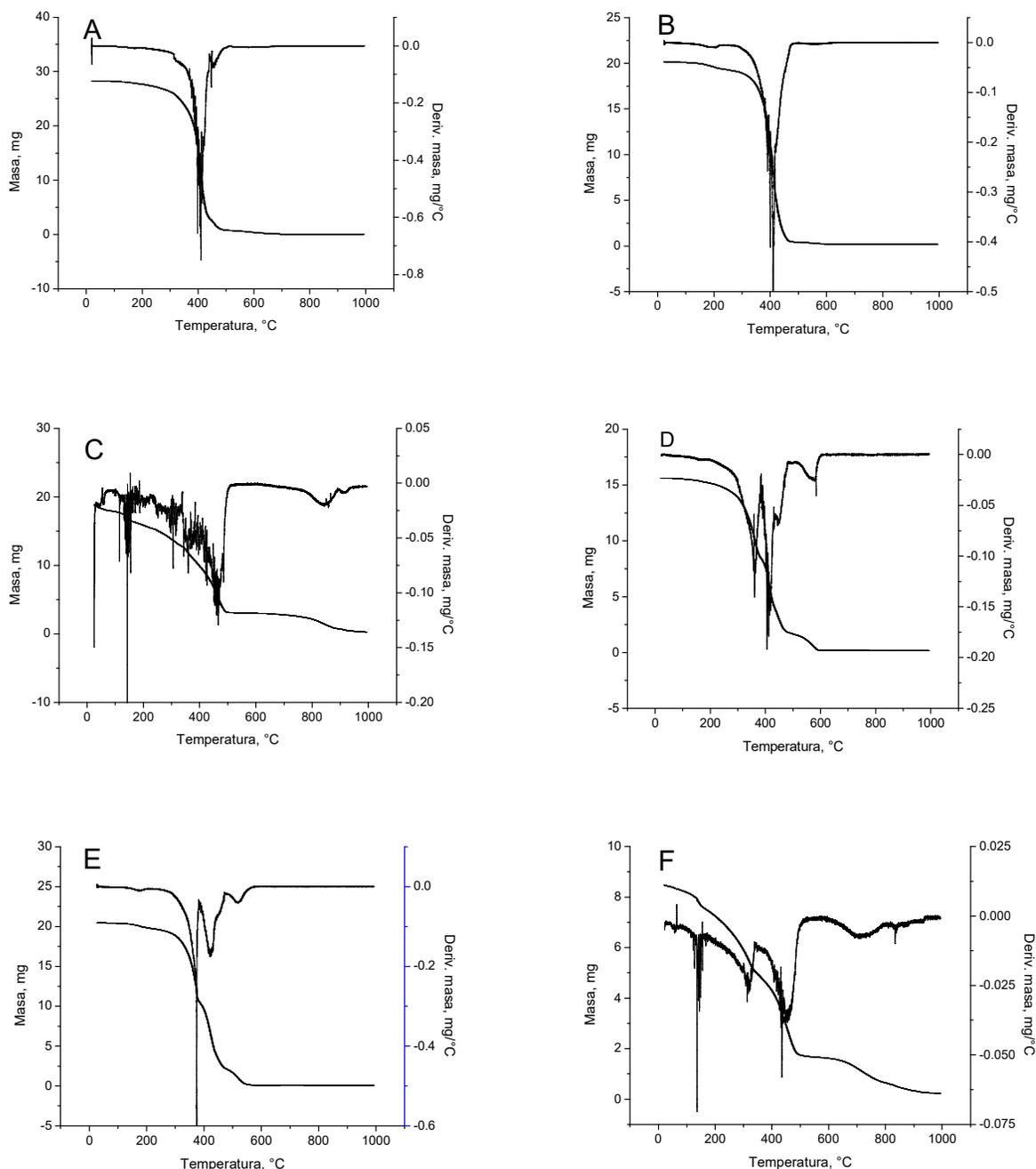


Figura 3. Curvas TG y DTG de aceites extraídos de aguacate criollo. En atmósfera de nitrógeno A: cáscara, B: pulpa y C: semilla, y en atmósfera de aire D: cáscara, E: pulpa y F: semilla

En la etapa 2 (de 150 a 330°C en nitrógeno y de 150 a 340 en aire), es atribuible a una mayor labilidad térmica relativa de los TG constituyentes del aceite de la semilla de aguacate. Los picos de máxima velocidad de descomposición para este aceite se observaron a 135 y 145 °C en condiciones oxidantes e inertes, respectivamente. En comparación con los aceites de cáscara y pulpa, el de semilla de aguacate criollo mostró una menor estabilidad térmica.

Tabla 5. Datos relevantes del análisis termogravimétrico de los aceites extraídos de la cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo, en atmósferas de nitrógeno y aire

| Origen del aceite/ condiciones | Etapas | T inicial, °C | Pico max, °C | T final, °C | Pérdida de masa % | Vel. Max, %/°C | Residuo % |
|-----------------------------------|--------|------------------|--------------------|----------------|-------------------------|-------------------|--------------|
| Aceite de cáscara/ Nitrógeno | I | 120 | -- | 310.5 | 7.48 | 0.125 | 0.89 |
| | II | 310.6 | 399.5 | 447.5 | 79.97 | 1.75 | |
| | III | 448 | 454.4 | 625 | 11.66 | 0.27 | |
| Aceite de cáscara/ Aire | I | 101 | -- | 290.2 | 12.54 | 0.23 | 1.23 |
| | II | 290.4 | 355.2 | 382.4 | 33.83 | 0.73 | |
| | III | 383 | 409 | 474.6 | 42.07 | 0.93 | |
| | IV | 515.7 | 587.6 | 611.5 | 10.33 | 0.15 | |
| Aceite de pulpa/Nitrógeno | I | 129.2 | 202 | 228.3 | 4.11 | 0.070 | 2.0 |
| | II | 229 | 409.6 | 488.7 | 93.89 | 1.85 | |
| Aceite de pulpa / Aire | I | 105.1 | 175 | 214.5 | 3.63 | 0.072 | 0.46 |
| | II | 220 | 375 | 385.6 | 45.09 | 1.40 | |
| | III | 390.6 | 420.3 | 471.4 | 40.50 | 0.85 | |
| | IV | 481.6 | 519.5 | 579 | 10.32 | 0.23 | |
| Aceite de semilla/ Nitrógeno | I | 60 | 145 | 150 | 11.64 | 0.29 | 1.32 |
| | II | 150 | 320 | 330 | 20.08 | 0.30 | |
| | III | 330 | 453 | 519 | 51.89 | 0.55 | |
| | IV | 519 | ---- | 830 | 7.74 | 0.099 | |
| | V | 830 | 832 | 990 | 7.33 | 0.10 | |
| Aceite de semilla /aire | I | 35 | 135 | 150 | 10.80 | 0.25 | 2.71 |
| | II | 150 | 320 | 340 | 29.50 | 0.28 | |
| | III | 340 | 440 | 529 | 39.67 | 0.45 | |
| | IV | 529 | 710 | 760 | 10.68 | 0.08 | |
| | V | 760 | 825 | 990 | 6.64 | 0.06 | |

Comportamientos de fases, S-L de los aceites de cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo

La Figura 4 muestra las curvas *DSC* obtenidas durante el enfriamiento y calentamiento de los aceites de cáscara, pulpa y semilla del aguacate var. *drymifolia* en un rango de temperaturas de -80 y 80°C, que hacen observables los cambios de fase sólido/líquido ocurridos en los aceites por efecto del tratamiento térmico. Durante el enfriamiento se presentan varias transiciones de fase L/S debido a la complejidad en la composición de los aceites en términos de sus triacilglicérols (TG) y de los AG que los constituyen. En general las curvas de cristalización y fusión de los tres aceites estudiados son bastante simples. En el caso del proceso de fusión las curvas muestran cada una un máximo de fusión a -14.4, -12.6 y 11.9°C, para los aceites de cáscara, pulpa y semilla respectivamente lo que muestra el efecto de la cercanía en composición de los dos primeros en comparación con el tercero de los aceites.

Los tres perfiles de fusión muestran, sin embargo, un pico exotérmico cada uno pequeños en el caso de los de cáscara y pulpa y un poco más grande en el aceite extraído de la semilla (a -67.6 , a 62.9 y a -35.4°C) lo que estaría indicando un proceso de recristalización de los tres aceites previo a la fusión durante el calentamiento de los mismos.

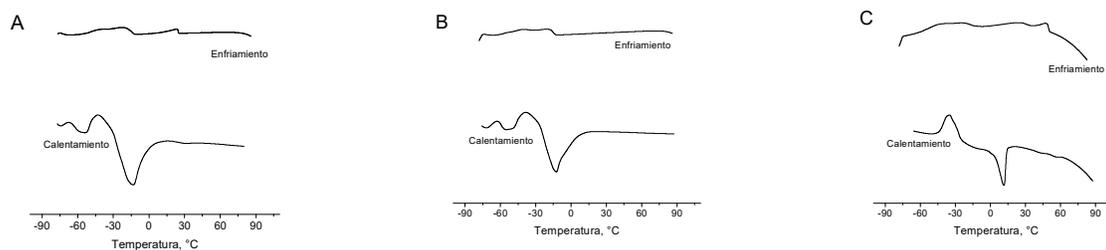


Figura 4. Curvas *DSC* de enfriamiento y calentamiento a $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ de los aceites extraídos de la: A) cáscara, B) pulpa y C) semilla de aguacate criollo

La Tabla 6 muestra y compara las temperaturas de transición S/L durante el enfriamiento de los aceites estudiados y la Tabla 7 presenta la comparación de las temperaturas de transición durante el calentamiento del aceite extraído de las diferentes partes del aguacate criollo. En general hay una semejanza en la conducta térmica de transiciones de fase de los aceites de cáscara y pulpa, consecuencia de una mayor cercanía en las composiciones de AG, mostrados anteriormente y la conducta de fase del aceite extraído de la semilla muestra una mayor diferencia con los antes mencionados.

Tabla 6. Comparación de las temperaturas de transición en la cristalización del aceite extraído de las diferentes partes del aguacate criollo

| | T_0 $^{\circ}\text{C}$ | T_f $^{\circ}\text{C}$ | Intervalo de temperatura $^{\circ}\text{C}$ | Picos máximos $^{\circ}\text{C}$ | ΔH J/g |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------------|-------------------|
| Cáscara | 23.47 | -54.33 | 77.8 | 23.3, -19.2, -67.6 | 2.91 |
| Pulpa | -71.05 | -56.86 | 14.14 | -17.4, -39.5, -62.9 | 3.058 |
| Semilla | -53.18 | -20.51 | 32.67 | 47.1, 25.7, -18.5, -35.4 | 9.975 |

Tabla 7. Comparación de las temperaturas de transición durante la fusión del aceite extraído de las diferentes partes del aguacate criollo

| | T_0 $^{\circ}\text{C}$ | T_f $^{\circ}\text{C}$ | Intervalo de temperatura $^{\circ}\text{C}$ | Picos máximos $^{\circ}\text{C}$ | ΔH J/g |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|---|--|-------------------|
| Cáscara | -43.35 | 9.44 | 33.91 | -14.4 | 54.15 |
| Pulpa | -35.36 | 12.61 | 47.97 | -12.6 | 49.56 |
| Semilla | -5.49 | 18.93 | 24.42 | 11.9 | 9.252 |

Contenido de grasa sólida de los aceites de cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo

La Figura 5 muestra los perfiles de sólidos que presentan los aceites estudiados en función de la temperatura. La gráfica indica los intervalos de temperatura para las condiciones consideradas como de refrigeración ($<5^{\circ}\text{C}$), ambiental (5 - 25°C) y de temperatura corporal humana 25 - 38°C que permite entender y relacionar las características de fluidez y funcionalidad de las de TG constituyentes de las fracciones sólida y líquida de las grasas y los aceites (O'Brien, 2008).

Para el caso de las grasas y aceites comestibles y sus productos, estos datos proporcionan información importante sobre su palatabilidad, gomosidad, plasticidad, lubricidad, etc., a las diferentes temperaturas o intervalos de interés, como es el caso de las condiciones de refrigeración, ambientales o corporales que permiten vislumbrar posibles usos potenciales o aplicaciones.

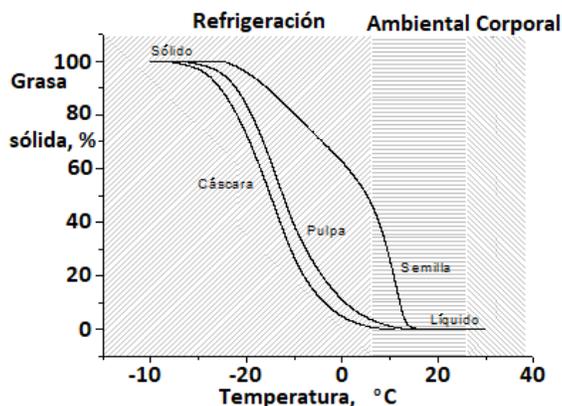


Figura 5. Perfil de sólidos de los aceites de cáscara, pulpa y aceites de semilla de aguacate criollo en los intervalos de temperatura de refrigeración, ambiental y corporal

Con respecto de los aceites estudiados en el presente trabajo, la Figura 5 muestra que los aceites de cáscara y pulpa son casi totalmente líquidos a las temperaturas mayores a las de refrigeración con porcentajes de sólidos, a 5°C, de sólo 0.6 y 4.0%, respectivamente, siendo por tanto aceites en fase líquida en el rango de temperatura ambiental, destacando sus características funcionales de claridad y lubricidad. El aceite de semilla muestra en el inicio de esa zona de temperatura ambiental un porcentaje de sólidos de 46.4% siendo por tanto semisólido y totalmente líquido a temperaturas superiores.

Acorde con los resultados mostrados, en cuanto al rendimiento, la composición en ácidos grasos, la estabilidad térmica y la conducta de fase de los aceites estudiados, esta variedad de aguacate puede considerarse una fuente relevante de aceites con características semejantes a los aceites de mesa y freído y cuya claridad y lubricidad a temperaturas ambientales y corporales tiene potencial para ser aprovechada, también, en el ámbito de la elaboración de cosméticos y farmacéutico.

Dentro de los usos potenciales no alimentarios para los aceites de las porciones del aguacate criollo que derivan de las características mostradas por los análisis térmicos y que muestran cercanía con las que presentan los materiales de cambio de fase (*CPM*, por sus siglas en inglés) está su posible utilización para el almacenamiento de energía aprovechando principalmente sus altas entalpias de fusión. A este respecto Abuelnuor et al. (2018), hacen una revisión interesante, por ejemplo, de la mejora ocurrida en confort térmico en el interior de edificaciones por el uso de *CPM* orgánicos como las parafinas y los ácidos grasos, Lei et al. (2017), estudiaron la reducción de la carga de enfriamiento en edificios en zonas tropicales por el uso de *CPM* y Reyes-Cueva (2020) estudió la mejora de eficiencia energética en el almacenamiento en frío usando el aceite de semilla de aguacate como un *CPM*.

Conclusiones

De la investigación bibliográfica, se desprende que el aguacate 'criollo' (*P. americana* var. *drymifolia*) es un ecotipo autóctono de México con características fitoquímicas, nutricias y organolépticas especiales cuyo cultivo, producción y consumo se ha visto en desventaja, en los últimos años por el predominio de otras variedades mejoradas, con los consiguientes impactos, algunos desfavorables, en términos económicos, sociales y ambientales en las diversas zonas productoras.

En este trabajo se realizó un estudio experimental sobre las propiedades térmicas y de fase de los aceites extraídos de la cáscara, pulpa y semilla de este tipo de aguacate con el fin de contribuir al conocimiento de sus cualidades y apoyar con ello el fomento en la ampliación de su cultivo, producción y consumo y proteger las biodiversidades locales.

Los resultados mostraron que la cáscara, pulpa y semilla de esta fruta constituyeron el 8.93, 58.1 y 31.1%, en masa, del fruto, con rendimientos de aceite de 6.07 ± 0.85 , 34.91 ± 3.26 y $1.00 \pm 0.19\%$ (bs), respectivamente, y valores de saponificación de 173.59 ± 8.39 , 163.28 ± 2.50 y 181.74 ± 12.73 mg de KOH/g de aceite, valores estadísticamente iguales.

Los aceites tuvieron predominantemente AG insaturados, siendo el oleico el mayoritario en los aceites de cáscara (45.52%) y pulpa (42.58%) y el linoleico en el de semilla (23.31%). El TGA mostró que las temperaturas de descomposición de la mezcla de TG de los aceites dieron inicio a 290.4, 220 y 150 °C para los aceites de cáscara, pulpa y semilla, respectivamente.

El análisis DSC mostró las transiciones de fase S/L y la predominancia de las fases líquidas a las temperaturas propias de las condiciones ambientales y corporales donde destaca la claridad y liquidez de estos aceites, propiedades funcionales que pueden servir de base para vislumbrar diversos usos potenciales.

Glosario de términos

| Términos | Significado |
|----------|--|
| AG | Ácidos grasos |
| bs | Base seca |
| CPM | Materiales de cambio de fase, por sus siglas en inglés |
| DTG | Termogravimetría derivativa, un tipo de análisis térmico en el que la tasa de cambios en la masa del material al calentarse se representa frente a la temperatura (por sus siglas en inglés, <i>derivative thermogravimetry, a type of thermal analysis in which the rate of material mass changes upon heating is plotted against temperature</i>) |
| DSC | Calorimetría diferencial de barrido (por sus siglas en inglés, <i>Differential Scanning Calorimetry</i>) |
| ELN | Extracto libre de nitrógeno |
| FTIR | Espectroscopía infrarroja con Transformada de Fourier (por sus siglas en inglés, <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>) |
| FQ | Facultad de Química, UNAM |
| ICB | Instituto de Ciencias Básicas, UV en Xalapa, Veracruz, México |
| IIM | Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM |
| LIE | Licenciado en Instrumentación Electrónica |
| ODS | Objetivos del Desarrollo Sostenible |
| SFI | Índice de grasa sólida (por sus siglas en inglés, <i>solid fat index</i>) |
| S/L | Sólido/Líquido |
| TG | Triacilglicerol |
| TGA | Análisis termogravimétrico (por sus siglas en inglés, <i>thermogravimetric analysis</i>) |
| UNAM | Universidad Nacional Autónoma de México |
| USAI | Unidad de Servicios Analíticos para la Industria y la Investigación de la Facultad de Química de la UNAM |
| UV, UVX | Universidad Veracruzana, Universidad Veracruzana en Xalapa, México |

| Términos | Significado |
|-----------------------|--------------------------------------|
| Letras griegas | |
| H, ΔH_f | Entalpía, entalpía de fusión, en J/g |

Reconocimientos

Los autores reconocen el apoyo institucional de la Universidad Veracruzana y de la Universidad Nacional Autónoma de México para realización de este trabajo; así mismo agradecen el apoyo técnico para los análisis cromatográfico, termogravimétrico y calorimétrico de las muestras de aceite por parte de USAII e IIM de la UNAM. Agradecen también al LIE Nahúm Castillo-González del ICB, UVX por el procesamiento electrónico de los datos.

Referencias

- Abuelnuor, A.A., Omara, A.A., Saqr, K.M., Elhag, I.H. (2018). Improving indoor thermal comfort by using phase change materials: A review. *International Journal of Energy Research*. 42(6):2084-2103.
- Acosta-Díaz, E., Álvarez-Ojeda, M. G., Guzmán-Maldonado, S. H., Almeyda-León, I. H. 2019. Variability of the total oil content and fatty acid profile of creole avocados from Nuevo Leon, Mexico. *Agronomía Mesoamericana*. 30(3):705-719.
- Anu, S.J., Rao, J.M. 2001. Oxanthrone esters from the aerial parts of *Cassia kleinii*. *Phytochemistry*. 57:583-585. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(01\)00114-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00114-5)
- Bravo-Monzon, A.E., Espinosa-García, F.J. 2008. Volatile emissions in *Persea americana* in response to the stem borer *Copturus aguacatae* attack. *Allelopathy Journal*. 21(1):167-173.
- Bergh, B.O. 1992. The origin, nature, and genetic improvement of the avocado. *California Avocado Society Yearbook*. 76:61-75.
- Campos-Rojas, E., Hernández-Vásquez, F.L., Espíndola-Barquera, M.C., Reyes-Alemán, J.C., Barrientos-Priego, A. 2011. Characterization of Creole Mexican avocado (*Persea drymifolia*) as donor seed. *Proceedings VII World Avocado Congress*. 5 – 9 September 2011. Pp. 1-11. Cairns, Australia.
- Castorena-García, J.H., Rojas-López, M., Delgado-Macuil, R., Robles-de-la-Torre, R.R. 2011. Análisis de pulpa y aceite de aguacate con espectroscopía infrarroja. *Conciencia Tecnológica*. (42):5-10.
- Corrales-García, J.E., García-Mateos, M.R., Martínez-López, E., Barrientos-Priego, A.F., Ybarra-Moncada, M.C., Ibarra-Estrada, E., Méndez-Zúñiga, S.M., Becerra-Morales, D. 2019. Anthocyanin and oil contents, fatty acids profiles, and antioxidant activity of Mexican landrace avocado fruits. *Plant Foods Hum. Nutr.* 74(2):210–215. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00721-1>
- Corrales-García, J.E., Méndez-Zúñiga, S.M. 2020. Criollo avocado of Mexican race (*Persea americana* var. *drymifolia*): An underutilized species in horticulture. *Horticult. Int. J.* 4(6):221-223.
- Estrada-Rivera, M.d.S. 2019. La política agraria mexicana y el cultivo del aguacate. Tesis de Maestría. Universidad de Valladolid. Valladolid, España.
- FAOSTAT. 2023. Datos sobre Alimentación y Agricultura. FAO. ONU. FAOSTAT
- Freitas, M.L.F., Chisté, R.C., Polachini, T.C., Sardella, L.A.C.Z., Aranha, C.P.M., Ribeiro, A.P.B., Nicoletti, V.R. 2017. Quality characteristics and thermal behavior of buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. *Grasas y aceites*. 68(4):e220-e220.
- Galindo-Tovar, M.E., Arzate-Fernández, A.M. 2010. Consideraciones sobre el origen y primera dispersión del aguacate (*Persea americana*, Lauraceae). *Cuadernos de Biodiversidad*. 33:11-15.
- Ge, Y., Si, X., Wu, B., Dong, X., Xu, Z., Ma, W. 2018. Oil content and fatty acid composition of the seeds of 16 avocado (*Persea americana*) accessions collected from southern China and their application in a soap bar. *J. Agric. Sci.* 10:69-78.
- Girvan, N. 2008. La economía de plantación en la era de la globalización. En *Teoría de la economía de plantación*. Best, L., Polanyi-Levitt, K., eds. Casa de las Américas. La Habana, Cuba.
- González-Rodríguez, A. 2017. Análisis calorimétrico y termogravimétrico del aceite extraído de la cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo (*Persea americana* Mill) Var. *Drymifolia*. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México.
- Gupta, S.K., Singhal, P., Singh, A., Chauhan, R., Kumar, B. 2018. Nutritional and pharmaceutical benefits of avocado plant. *Journal of Advanced Scientific Research*. 9(2):4-11.
- Haque-Akanda, M.J., Norazlina, M.R., Azzatu, F.S., Shaarani, S., Mamat, H., Lee, J.S., Norliza, J., Mansoor, A.H., Selamat, J., Khan, F., Matanjun, P., Islam-Sarker, M.Z. 2020. Hard fats improve the physicochemical and thermal properties of seed fats for applications in confectionery products. *Food Reviews International*. 36(6):601-625.
- Horwitz, W. 2010. Official methods of analysis of AOAC International. Horwitz, W., ed. AOAC International. Gaithersburg, MD, Estados Unidos.
- INEGI. 2022. Producción por cultivo a cielo abierto. Cultivos perenes. <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/>
- Lambelet, P, Raemy, A. 1983. Iso-solid diagrams of fat blends from thermal analysis data. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 60:845-847. <https://doi.org/10.1007/BF02787442>
- Lazos-Ruiz, A.E., Nicasio-Arzeta, S., Garibay-Orozco, C. 2018. Lecciones del oro verde: Café en Brasil (siglo XIX) y aguacate (en México siglo XX y XXI). *Biodiversidad, Servicios Ecosistémicos y los Objetivos del Desarrollo Sostenible en México*. Víctor Ávila-Akerberg, Tanya González-Martínez (Coordinadores). Pub. UAEMex-DAAD. Pp. 199-225. Estado de México, México.
- Lei, J., Kumarasamy, K., Zingre, K.T., Yang, J., Wan, M.P., Yang, E.H. 2017. Cool colored coating and phase change materials as complementary cooling strategies for building cooling load reduction in tropics. *Applied Energy*. 190:57-63.

- Mehlenbacher, V.C. 1960. Análisis de Grasas y Aceites. Enciclopedia de la Química Industrial. Tomo 6. Ediciones Urmo. Pp. 330-344. Madrid, España.
- Naciones Unidas. 2019. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019. e-ISBN: 978-92-1-047889-2, ISSN: 2521- 6899, e-ISSN: 2521-6902.
- Niogret, J., Epsyk, N.D., Schnell, E.Q., Schnell, R.J., Heath, R.R., Meerow, A.W., Kendra, P.E. 2013. Analysis of sesquiterpene distributions in the leaves, branches, and trunks of avocado (*Persea americana* Mill.).
- O'Brien, R.D. 2008. Fats and oils: Formulating and processing for applications. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420061673>
- Ochoa-Zarzosa, A., Baez-Magana, M., Guzman-Rodriguez, J.J., Flores-Alvarez, L.J., Lara-Marquez, M., Zavala-Guerrero, B., Lopez-Meza, J. E. 2021. Bioactive molecules from native Mexican avocado fruit (*Persea americana* var. *drymifolia*): A review. *Plant Foods for Human Nutrition*. 76: 133-142. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11130-021-00887-7>
- OriginLab. 2007. *Origin Pro 8 SRO*. OriginLab Corporation. Northampton, MA, U.S.
- Oxfam. 2013. Tras la marca / El papel de las 10 grandes empresas de alimentación y bebidas en el sistema alimentario. 166 Informe de Oxfam.
- Pliogo-Cerdán, C.I. 2021. Estudio de las propiedades físicas, químicas y térmicas de los aceites extraídos de *Persea americana* var. *drymifolia*. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- Ramos-Aguilar, A.L., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L.M., Gardea-Bejar, A.A., Yahia, E.M., de-Jesús-Ornelas-Paz, J., Escalante-Minakata, P. 2021a. Metabolomic analysis and physical attributes of ripe fruits from Mexican Creole (*Persea americana* var. *drymifolia*) and 'Hass' avocados. *Food Chemistry*. 354:129571. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129571.
- Ramos-Aguilar, A. L., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L.M., Gardea-Béjar, A.A., Yahia, E.M., de-Jesús-Ornelas-Paz, J., Escalante-Minakata, P. 2021b. Effect of cultivar on the content of selected phytochemicals in avocado peels. *Food Research International*. 140:110024. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110024>
- Reyes-Cueva, E.P. 2020. Caracterización y uso del aceite de pepa de aguacate como material de cambio de fase para la mejora de eficiencia energética en el almacenamiento en frío. Tesis de Maestría en Ecoeficiencia Industrial. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador.
- Rincón-Hernández, C.A., Sánchez-Pérez, J.L., Espinosa-García, F.J. 2011. Foliar chemical characterization of the creole avocado trees (*Persea americana* var. *drymifolia*) in the germplasm banks from Michoacan, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82(2):395-412.
- Rivera, P., Chailloux-Laffita, G. 2008. La relevancia de la teoría de la economía de plantación. En *Teoría de la economía de plantación*. Best, L., Polanyi-Levitt, K., eds. Casa de las Américas. La Habana, Cuba
- SAGARPA. 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Aguacate Mexicano. Ciudad de México. México.
- Sagrero-Nieves, L., Bartley, J.P. 1995. Volatile components of avocado leaves (*Persea americana* Mill) from the Mexican race. *J. Sci. Food Agr*. 67:49-51.
- Sánchez-Albarrán, F., Salgado-Garciglia, R., Molina-Torres, J., López-Gómez, R. 2019. Oleosome oil storage in the mesocarp of two avocado varieties. *Journal of Oleo Science*. 68(1): 87-94.
- Sánchez-Jiménez, W., Ángel-Osorio, J. 2022. Tendencias económicas y agroambientales del monocultivo del aguacate Hass en Colombia. *Libre Empresa*. 19(1): 67-80.
- Solís-Fuentes, J.A., Durán-de-Bazúa, M.d.C. 2004. Mango seed uses: Thermal behaviour of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. *Bioresource Technology*. 92:71-78.
- Solís-Fuentes, J.A. 2021. Alliances towards reaching some of the goals for sustainable development: A reflection on the role of the large agri-food consortiums in Mexico and Latin America. In *Sustainability and development: I. Socioecological Aspects*. Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C., ed. Eón Ediciones. Deutscher Akademischer Austauschdienst, DAAD. Cap. 18. Pp. 437-453. Ciudad de México, México / Mexico City, Mexico.
- Solís-Fuentes, J.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2022. Investigación de materiales para la producción sostenible de biodiésel a costos más bajos en contextos subdesarrollados. En *Sustainability and development: II. Socioeconomic Aspects*. Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C., ed. AM Editores. Cap. 13. Pp. 271-287. Ciudad de México, México / Mexico City, Mexico.
- Solís-Fuentes, J.A., Pliogo-Cerdán, C.I., Hernández-Medel, M.R., García-Gómez, R.S., Bernal-González, M., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2023. Contents and composition of essential oils of leaves and edible portions: Peel and pulp of avocado native to Mexico. *Contenidos y composición de aceites esenciales de hoja y porciones comestibles: Cáscara y pulpa de aguacate autóctono de México (P. americana var. drymifolia, Schltld. & Cham.)*. En publicación.
- Torres-Gurrola, G., Montes-Hernandez, S., Espinosa-García, F.J. 2009. Patterns of variation and geographic distribution in foliar chemical phenotypes of *Persea americana* var. *drymifolia*. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32(1):19-30.
- Torres-Gurrola, G., Delgado-Lamas, G., Espinosa-García, F.J. 2011. The foliar chemical profile of *criollo* avocado, *Persea americana* var. *drymifolia* (Lauraceae), and its relationship with the incidence of a gall-forming insect, *Trioza anceps* (Triozidae). *Biochemical Systematics and Ecology*. 39(2):102-111.