

Imagen de Rita Miranda López

Perfil de compuestos orgánicos volátiles y ácidos grasos del aguacate (*Persea americana*) y sus beneficios a la salud

Volatile organic compounds and fatty acids profile of avocado (*Persea americana*) and its health benefits

Cynthia Teresa Lara-García, Hugo Jiménez-Islas, Rita Miranda-López*

RESUMEN

La caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos a partir de su contenido de ácidos grasos y compuestos orgánicos volátiles (COV) permiten determinar su utilidad potencial. Se han realizado pocos estudios recientes relacionados con los COV encontrados en el aguacate, los cuales pueden variar dependiendo del lugar de origen, genética y fenotipos. El objetivo del presente trabajo fue presentar el estado del arte de la fitoquímica del aguacate criollo comparado con variedades comerciales. Se encontró que los COV le confieren un perfil de aroma que identifica a diversas variedades y que los ácidos grasos son responsables de la síntesis de algunos COV. En la hoja de aguacate criollo se identificaron 26 COV, siendo 8 monoterpenoides, 7 sesquiterpenos, 6 fenilpropanoides, 1 acetato y 4 alcanos; estos COV no se han encontrado en las variedades comerciales. Por otro lado, la variedad *Drymifolia* se caracteriza por su contenido fenólico, diversos ácidos grasos y acetogeninas. Dichos componentes químicos también se han asociado con diversos beneficios a la salud, como actividad anticancerígena en colon, próstata y células K562, actividad antiinflamatoria y antioxidante. Ello ha propiciado el interés de fomentar su uso como ingrediente, aditivo o fitofármaco en la industria alimentaria o biotecnológica.

PALABRAS CLAVE: *Persea americana*, compuestos volátiles, ácidos grasos, bioactividad.

ABSTRACT

The characterization and evaluation of phytochemical resources, based on their content of fatty acids and in volatile organic compounds (VOC) allow to determine their potential usefulness. There have been few recent studies related to the VOC found in avocado, which can vary depending on the place of origin, genetics and phenotypes. These compounds have been associated to healthy benefits effects. The objective of the present work was to present the current literature review of the phytochemistry of creole avocado compared to commercial varieties. VOC were found to confer an aroma profile that identifies various varieties, and that fatty acids are responsible for the synthesis of some VOC. In the creole avocado leaf, 26 VOC were identified, being 8 monoterpenoids, 7 sesquiterpenes, 6 phenylpropanoids and 4 alkane; these VOC have not been found in the commercial varieties. On the other hand, the *Drymifolia* variety is characterized by its phenolic content, various fatty acids and acetogenins. These chemical components have also been associated with various health benefits such as anticancer activity in colon, prostate and K562 cells, anti-inflammatory and antioxidant activity. This has led to the interest in promoting its use as an ingredient, additive or phytopharmaceutical in the food or biotechnology industry.

KEYWORDS: *Persea americana*, volatile compounds, fatty acids, bioactivity.

*Correspondencia: rita.miranda@itcelaya.edu.mx/ Fecha de recepción: 18 de noviembre de 2020/ Fecha de aceptación: 31 de marzo de 2021/ Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

Tecnológico Nacional de México Celaya, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Antonio García Cubas Pte. núm. 600, esq. Avenida Tecnológico, col. Alfredo V. Bonfil, Celaya, Guanajuato, México, C. P. 38010.

INTRODUCCIÓN

El aguacate es originario de las partes altas de Guatemala y las zonas montañosas del centro y este de México. Actualmente se diferencian las razas guatemaltecas (*Persea americana* var. *Guatemalensis*), mexicana (*P. americana* var. *Drymifolia*) y antillana (*P. americana* var. *americana*). La mayoría de las variedades en el mercado son Bacon, Hass, Fuerte y Gwen, siendo la Hass la de mayor comercialización (Turner y Miksicek, 1984; Acosta y col., 2012; Melgar y col., 2018).

México es el centro de origen y distribución del aguacate y cuenta con gran variedad de “criollos”, los cuales se han diversificado a través del tiempo. La caracterización y evaluación de dichos recursos fitogenéticos permiten establecer su utilidad potencial. Los aguacates de la variedad mexicana *Drymifolia* son frutos con formas elipsoides, ovoides, piriformes, oblongos o romboidales (Acosta y col., 2013). Estos aguacates nativos se cultivan naturalmente en jardines de traspatio y tierras agrícolas. Se han realizado estudios donde se identifican de manera morfológica, midiendo los diámetros ecuatorial y polar, tanto de la fruta como de la semilla; además del peso de la fruta completa, semilla, pulpa y cáscara. Se han registrado genotipos de buena calidad, para preservarlos y posteriormente usarlos como portainjerto, debido al pericarpio delgado del aguacate criollo, que lo hace susceptible al daño postcosecha (mecánico y fisiológico), lo que causa que solamente se consumen de manera regional, a diferencia de la variedad ‘Hass’, que posee una piel mediana gruesa, con textura rugosa (Figura 1), y que es altamente demandada; un consumidor reconocido de esta variedad es Estados Unidos, que la importa, principalmente de México, país del cual absorbe el 87 % de la producción (Salazar-García, 2016; Damián-Nava y col., 2017; Espinosa-Alonso y col., 2017; Cho y col., 2021).

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son sustancias químicas producidas por las frutas y verduras que contribuyen a su sabor y aroma. El tipo y concentración de COV dependen

de la especie y la variedad y cambian conforme la fase de maduración, el estado fisiológico y el ritmo circadiano de las plantas, lo que vuelve muy complejo dilucidar su biosíntesis y por lo tanto, el cómo dichos compuestos influyen en la decisión del consumo de los frutos. Se han utilizado como biomarcadores para el diagnóstico y manejo de la calidad postcosecha (Mahendran y col., 2018; Campuzano-Granados y Cruz-López, 2021; Guo y col., 2020).

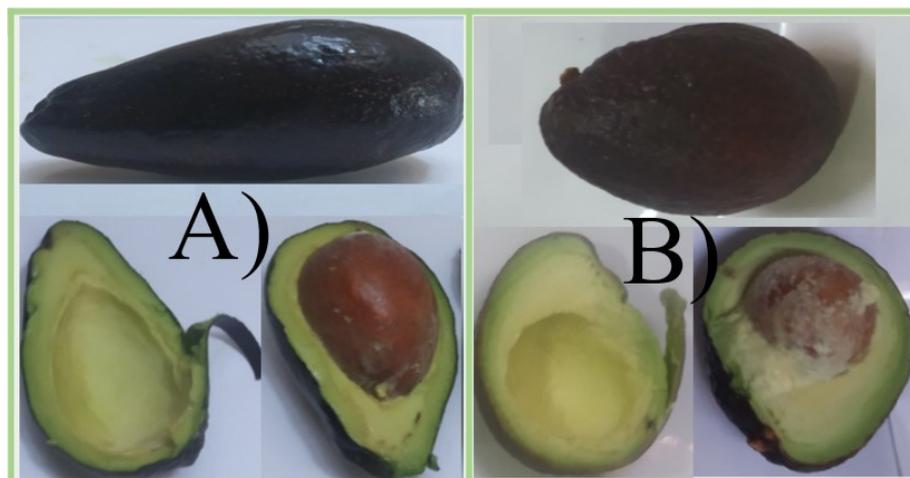
El aguacate es rico en compuestos bioactivos que tienen diversos beneficios para la salud. Es reconocido como una fuente particularmente rica de compuestos fitoquímicos lipofílicos como ácidos grasos monoinsaturados, tocoferoles, carotenos, esteroides y acetogeninas (Rodríguez-Sánchez y col., 2013). Su consumo se asocia a una mejor calidad de dieta, ingesta de nutrientes y menor riesgo de síndrome metabólico, destacando por su actividad antimicrobiana, antioxidante y anticancerígena, entre otras (Araújo y col., 2018; Edwards y col., 2020). También se ha reportado la presencia de ésteres, alcoholes, aldehídos, cetonas, monoterpenos y sesquiterpenos (Poll y col., 2006; Dávila-Aviña y col., 2011; Canto y col., 2013; Tiwari y col., 2020).

El objetivo del presente trabajo fue presentar el estado del arte actual de la fitoquímica del aguacate criollo comparado con variedades comerciales.

Compuestos orgánicos volátiles

Los COV se asocian con el sabor característico de una amplia variedad de frutas. Su producción se deriva principalmente de ácidos grasos modulada por etileno (García-Rojas y col., 2016). En aguacate ‘Hass’ se ha detectado la presencia de hexanal y E-2 hexanal, asociados con el aroma herbal del fruto y con una tendencia a disminuir su concentración durante su maduración (García-Rojas y col., 2016).

Los aldehídos predominaron entre los COV presentes en 14 genotipos de aguacate, debido probablemente a que estos compuestos se generan a partir de la degradación de los lípidos, los



■ **Figura 1.** A) Aguacate criollo, B) Aguacate Hass.
Figure 1. A) Creole avocado, B) Hass avocado.

cuales abundan en dicha fruta. Entre las características de estos compuestos identificados destacan las siguientes: el acetaldehído es un aldehído de cadena corta, muy volátil y se caracteriza por un aroma a fruta fresca, el hexanal y E-2-hexenal presentan un aroma a hierba con un umbral característico, el limoneno aporta una nota aromática fresca cítrica, el α -cubebeno tiene aromas frutales parecido a los cítricos, mientras que el α -copaeno y el β -cariofileno poseen notas especiadas y amaderadas (Ali y col., 2020).

La concentración de COV responsables de aroma y sabor dependió de la composición atmosférica usada durante el almacenamiento controlado de la variedad Fuerte. Los compuestos identificados fueron, alcoholes, aldehídos, ésteres e hidrocarburos. Los autores infieren que el sabor del aguacate, que es generalmente descrito como fresco y herbáceo, se debe a la presencia de alcoholes y aldehídos (Mahendran y col., 2018).

Los COV además de ser responsables del aroma y sabor, pueden ayudar para la clasificación de diversas variedades de aguacate criollo. Debido a que el taxón de estos productos es muy variable, resulta importante tipificar a los árboles de aguacate como fuente de genes de resistencia contra plagas y enfermedades. También es una herramienta útil para diferen-

ciar los fenotipos químicos prominentes en variedades comerciales. Los compuestos que imperaron en *P. americana* var. *Drymifolia* fueron estragol y cariofileno (22 % a 72 % y de 9 % a 16 %, respectivamente) (Torres-Gurrola y col., 2009). Otra investigación de aguacates en Florida, Estados Unidos comparó 3 variedades con el perfil de COV, los cuales diferían entre los tres cultivares con varios compuestos detectados en un solo cultivar. El híbrido Simmonds difirió por el contenido de 3-metil-buten-1-ol, cis-3-hexen-1-ol, cis- β -ocimeno, hexilo butirato, δ -elemeno y transnerolidol. El híbrido Booth 7 se caracterizó por su contenido de 2-metil-1-butanol, 2-metil-butenal, crotonato de etilo, isovalerato de etilo, tigolato de etilo, cis- α -bisabolenol y selineno; finalmente, el híbrido Monroe se distinguió por el contenido de butirato de metilo, valenciano e ilángeno (Canto y col., 2013).

Campuzano-Granados y Cruz-López (2021) identificaron y compararon los COV florales presentes en el aguacate 'Hass' y el de raza antillana. Se identificaron 35 compuestos volátiles, caracterizándose por poseer en su mayoría monoterpenos y sesquiterpenos; el linalool fue el compuesto más abundante en la raza antillana, mientras que en Hass fue el (E)- β -ocimeno. Lo anterior condujo a clasificar de manera taxonómica las razas de aguacate analizadas gracias a las diferencias en el perfil de COV florales.

La Tabla 1 muestra los COV que se han encontrado en diferentes partes del aguacate (flor, mesocarpio y hoja), de plantas que provienen de diversos lugares de origen y, por lo tanto, con distintas características cada una.

En 10 años se han realizado únicamente 5 estudios de COV presentes en el aguacate, donde la pulpa, flor y hoja son los materiales analizados. En pulpa existen 2 estudios de ‘Hass’ y 1 de Fuerte, ninguno de ellos hecho en México. De los 2 estudios realizados en México, en 1 se analizó el perfil de COV en hojas para seleccionar árboles de *P. americana* var. *Drymifolia*, como fuente de genes de resistencia a plagas y enfermedades, ya que previamente se había demostrado, en el caso de los pinos con mayor concentración de β -pineno, que son menos atacados que los que tienen menor cantidad del compuesto. Por ello, se considera que el fenotípico químico puede ayudar a determinar la susceptibilidad a plagas. Esto se observó en el aguacate criollo-*Trioza*, en el que, los árboles con más concentración de estragol presentaron menos agallas foliares. En

otro ángulo, en la investigación de COV florales, realizada también entre las variedades ‘Hass’ y raza antillana, muestra el ejemplo analizado en el barrenador del hueso *Conotrachelus perseae*, el cual ha sido reportado únicamente en el cultivo de ‘Hass’ en la región de Comitán, Chiapas; mientras que el barrenador del hueso *Stenomoma catenifer* se ha encontrado en cultivos de la raza antillana en la región del Soconusco, Chiapas. Lo anterior se relaciona a los COV florales, ya que estos envían a los insectos fitófagos y polinizadores señales químicas que les permiten localizar fuentes de alimento, hábitats y sitios de oviposición; estas señales varían dependiendo de la especie, variedad, estado fisiológico y el ritmo circadiano de las plantas (Torres-Gurrola y col., 2009; García-Rojas y col., 2016; Flores-Álvarez y col., 2018; Ali y col., 2020; Campuzano-Granados y Cruz-López, 2021).

El perfil de COV en la variedad *Drymifolia* mostró la presencia de 28 compuestos que no se encuentran reportados en las variedades extranjeras (Torres-Gurrola y col., 2009). En tanto que en el análisis realizado en la flor de la variedad

■ **Tabla 1. Compuestos orgánicos volátiles de *Persea americana*.**

Table 1. Volatile organic compounds from *Persea americana*.

Fuente	Origen	Compuesto	Concentración	Aroma	Referencia
Pulpa	Chile (Hass)	Hexanal	1 100 pmol/kg	Hierba	García-Rojas y col. (2016)
		E-2-Hexenal	130 pmol/kg	Hierba	
Pulpa	E.U.A (Hass)	Acetaldehído	1 824.25 μ m/kg	Fruta fresca	Ali y col. (2020)
		Hexanal	695.16 μ m/kg	Hierba	
		E-2-Hexenal	1 381.58 μ m/kg	Hierba	
		Limoneno	7.50 μ m/kg	Cítrico	
Pulpa	Reino Unido (Fuerte)	Acetaldehído	3.47 %	Fragante, floral	Mahendran y col. (2018)
		Etanol	7.10 %	Herbáceo, afrutado	
		2-Propanol	0.19 %	Amargo	
		Acetona	0.22 %	A levadura, afrutado	
		Acetato de metilo	1.92 %	Olor etéreo	
		2-Metil propanal	1.24 %	Floral	
		2-Metil pentano	0.27 %	-	
		3-Metil pentano	0.79 %	Dulce	
	n-Propanol	0.54 %	Sabor amargo		

Continúa...

Diacetal	0.19 %	Mantecoso
Butanal	0.89 %	Olor verde
Hexano	0.74 %	-
2-Metil furano	0.14 %	Hierba
Acetato de etilo	2.54 %	Afrutado
2-Metil-1-propanol	0.08 %	Dulce
3-Metil butanal	0.07 %	Fragante
Pentanal	0.82 %	Acre
3-Pentanona	0.42 %	-
3-Pentanol	0.17 %	Afrutado, cítrico
3-Metil butanol	0.71 %	Verde afrutado
3-Hidroxi-butan-2-ona	0.21 %	-
2-Metil butanol	0.97 %	Vino fermentado
Tolueno	0.27 %	Dulce, picante
1-Octeno	0.04 %	-
Trans-hex-3-enal	0.39 %	Verde, afrutado
Hexanal	5.54 %	Aguacate aceitoso
Octano	0.21 %	Gaseoso
Cis-hex-2-enal	6.64 %	Verde, afrutado
Trans-hex-3-en-1-ol	21.21 %	Verde, floral
Trans-hex-2-en-1-ol	18.42 %	Verde, afrutado
Hexan-1-ol	14.54 %	Fragante
Heptanal	0.84 %	Caramelo, mantecoso
Nonano	0.22 %	Dulce, aceitoso
2-Nonanona	0.12 %	Leche hervida
2-Metil-5-hepten-2-ona	0.17 %	-
Octanal	0.87 %	Dulce, afrutado
Trimetilbenceno	0.14 %	Dulce
Nonanal	3.14 %	Afrutado
Decanal	1.62 %	Cáscara de naranja
α -Cubebeno	0.21 %	Leñosos leves
α -Copaeno	0.14 %	Leñoso, picante, dulce
β -Cariopileno	0.14 %	Olor seco a madera
β -Gurjunene	0.17 %	Hierbas, dulce
δ -Cadineno	0.24 %	-
α -Humuleno	0.11 %	Suave leñoso, terroso
Heptadecanal	0.13 %	-
Tetradecanal	0.10 %	-
Ácido tetradecanoico	0.31 %	Aceitoso, ceroso
Nonadecano	0.12 %	Húmedo, nuez
Eicosano	0.14 %	Grasa

Continúa...

Hojas	México (Drymifolia)	1S- α -Pino	1.10 %	-	Torres- Gurrola y col. (2009)
		L- β -Pino	2.00 %	-	
		Sabineno	2.40 %	-	
		β -Pino	3.50 %	-	
		α -Felandreno	0.40 %	-	
		ρ -Cimeno	6.80 %	-	
		1R- α -Pino	0.70 %	-	
		Eucaliptol	0.50 %	-	
		Cis- β -Terpineol	1.20 %	-	
		β -Linalool	0.40 %	-	
		4-Alilanisol	38.30 %	-	
		4-Alilfenol	0.10 %	-	
		Chavicol-metil-éter	0.10 %	-	
		5-Metil-tridecano	0.80 %	-	
		Anetol	2.30 %	-	
		Eugenol-metil-éter	3.40 %	-	
		Fenol-4-(2-propenil)-acetato	0.80 %	-	
		β -Cubeneno	1.00 %	-	
		Cariofileno	11.20 %	-	
		Octadecano	1.70 %	-	
		Eugenol	0.30 %	-	
		α -Humuleno	1.70 %	-	
		Germacreno D	3.10 %	-	
Nerolidol	1.30 %	-			
Hexadecano	3.80 %	-			
Óxido de cariofileno	2.40 %	-			
Heptadecano	1.20 %	-			
Germacreno D-4-ol	1.00 %	-			
Flor	México (Hass)	α -pino	0.39 %	-	Campuzano- Granados y Cruz-López, (2021)
		Sabineno	0.36 %	-	
		β -pino	0.43 %	-	
		β -mirceno	3.45 %	-	
		Limoneno	0.49 %	-	
		(Z)- β -ocimeno	3.16 %	-	
		(E)- β -ocimeno	20.82 %	-	
		(E)-óxido de linalool	0.30 %	-	
		(Z)-óxido de linalool	1.97 %	-	
		Linalool	0.43 %	-	
		Perilleno (isómero)	9.33 %	-	
		Nitrilo de bencilo	1.91 %	-	

Continúa...

Lavandulol	0.43 %	-
Caproato de butilo	0.00 %	-
Salicilato de metilo	2.74 %	-
η -Tridecano	0.36 %	-
α -Copaeno	2.41 %	-
β -Cubebeno	1.94 %	-
β -Gurjuneno	2.03 %	-
β -Cariofileno	13.98 %	-
γ -Muuroleno	0.55 %	-
Valenceno	1.58 %	-
β -Guaieno	1.54 %	-
n-Pentadecano	2.40 %	-
γ -Cadineno	12.85 %	-
β -Cadineno	2.75 %	-
Dendrasalina	1.34 %	-
n-Hexadecano	0.27 %	-
8-Hexadecino	0.53 %	-
Ciclohexadecano	2.57 %	-
n-Heptadecano	3.36 %	-
n-Nonadecano	2.77 %	-
n-Icosano	0.00 %	-
n-Heneicosano	0.50 %	-
n-Docosano	0.05 %	-

mexicana Hass y la antillana se identificaron 2 de los 28 compuestos de la variedad Drymifolia: sabineno y β -pineno (Campuzano-Granados y Cruz-López, 2021), por lo que se puede inferir que el perfil de COV y la ubicación geográfica podrían ser clave para una caracterización y clasificación propia (García-Rojas y col., 2016; Flores-Álvarez y col., 2018; Ali y col., 2020). Por lo tanto, en la hoja de aguacate criollo se identificaron 26 COV que lo caracterizan, de los cuales 8 fueron monoterpénoides, 7 sesquiterpenos, 6 fenilpropanoides, 1 acetato y 4 alcanos.

Ácidos grasos

Los compuestos lipídicos son abundantes e importantes en la composición de los aguacates. Se identifican 5 a 6 ácidos grasos en cantidades significativas, conteniendo ácidos grasos sa-

turados, monoinsaturados y polinsaturados (Alkhalaf y col., 2019). Por otro lado, se ha informado que el ácido oléico reduce el colesterol total y la lipoproteína de baja densidad (LDL, por sus siglas en inglés: low density lipoproteins) sin reducir la lipoproteína de alta densidad (HDL, por sus siglas en inglés: high density lipoproteins) ni inhiben la agregación plaquetaria o la acción trombótica (Krumreich y col., 2018).

El estado de maduración del aguacate influye en el contenido de ácidos grasos; al ir madurando, el contenido de ácidos grasos monoinsaturados y saturados aumenta, mientras que los polinsaturados disminuyen, debido a su degradación (Villa-Rodríguez y col., 2011). También se ha observado que, el contenido de áci-

dos grasos monoinsaturados y polinsaturados está relacionado con temperaturas de crecimiento más frías, como mecanismo para conferir más fluidez a las membranas celulares y, por ende, brindarle cierta resistencia al frío (Pedreschi y col., 2016).

Es importante considerar que, tanto la localización geográfica del aguacate, como su relevante contribución a la salud están relacionadas con su contenido de ácidos grasos, por lo que ambos parámetros se han propuesto como variables a tomar en cuenta en futuros estudios de denominación de origen (Carvalho y col., 2015). En este sentido, Ali y col. (2020) clasificaron en 3 grupos los genotipos de aguacate, con base en el perfil de ácidos grasos y COV. El primero estaba conformado por 11 genotipos y se caracterizó por poseer mayor contenido de ácido oléico y la menor cantidad de ácido palmítico; el segundo se limitó a un genotipo y se distinguió por tener mayor concentración de (E)-2-hexanal, limoneno y ácido palmitoleico; el tercer grupo estuvo constituido por 2 subgrupos, los cuales tenían la mayor cantidad de hexanal y acetaldehído.

Se ha demostrado que los ácidos grasos tienen la capacidad de actuar como antioxidantes en sistemas tisulares *in vitro*. Esta capacidad dependió directamente del grado de insaturación, siendo más eficientes los ácidos grasos omega 3 de cadena larga, en particular el ácido eicosapentanoico. Su mecanismo de acción no ha sido precisado, pero se ha sugerido que inhiben la producción de radicales libres por la NAD(P)H oxidasa y la posibilidad de secuestrar agentes oxidantes, aunque esto último no se ha probado (Richard y col., 2008). Asimismo, se les atribuye a los ácidos grasos una asociación con los compuestos orgánicos volátiles, en donde los ácidos linolénico y linoleico están involucrados en la producción de COV, debido a que existió una reducción significativa del ácido linolénico durante el proceso de maduración, la cual fue de 109 g/mL a 6 g/mL asociado con el incremento de COV. Por su parte, en una investigación realizada en manzanas, los ácidos linolénico y linoleico, como ácidos grasos

libres o liberados por la actividad de la lipasa y luego metabolizadas por las enzimas β -oxidasa y/o lipoxigenasa, son considerados los principales precursores de ésteres volátiles, alcoholes y aldehídos, producidos durante la maduración de la fruta (García-Rojas y col., 2016). Un efecto similar fue documentado en aguacate Hass por Richard y col. (2008).

La Tabla 2 muestra los ácidos grasos reportados en las diversas partes del aguacate (pericarpio, mesocarpio y semilla). En México, se analizó la semilla del aguacate var. Drymifolia, en la que se identificaron 9 ácidos grasos, que se caracterizan por el contenido de ácido araquídico, 13-docosenoico, 15-tetracosenoico y lignocérico (Lara-Márquez y col., 2019). El contenido de ácidos grasos, característico de esta variedad, depende de la variedad botánica, la temporada de cultivo, ubicación geográfica, condiciones climáticas y la etapa de madurez, factores que se toman en cuenta para considerar al aguacate como materia prima para la industria del aceite, farmacéutica o alguna otra similar (Mpai y Sivakumar, 2020).

Beneficios a la salud

El aguacate destaca entre las frutas por tener cualidades dietéticas y medicinales extraordinarias (Alkhalaf y col., 2019). Su consumo proporciona niveles significativos de fibra dietética, minerales (magnesio, potasio), vitaminas como A, B-6, C, E, K, ácido fólico, ácido pantoténico, colina, niacina, riboflavina; además de fitoesteroles, luteína, zeaxantina y aceite rico en ácidos grasos insaturados, que solamente proporcionan 1.7 kcal/g. Esta densidad calórica se considera media-baja, porque un aguacate tiene aproximadamente un 80 % parte comestible, de lo cual 72 % es peso de agua y 8 % fibra dietética (Dreher y Davenport, 2013). Figueroa y col. (2018) lo consideran un alimento funcional por la presencia de compuestos bioactivos, tales como el hidroxibenzoico, los ácidos hidroxicinámicos, flavonoles y procianidinas.

Existe un interés particular en los lípidos de la semilla de aguacate y sus derivados, ya que poseen una importante actividad anticancerí-

■ Tabla 2. Ácidos grasos de *Persea americana*.
Table 2. Fatty acids from *Persea americana*.

Fuente	Origen	Compuesto	Concentración	Referencia
Semilla	México (Drymifolia)	Ácido mirístico	2.49 (µg/g)	Lara-Márquez y col. (2019)
		Ácido palmítico	7.10 (µg/g)	
		Ácido linoleico	4.06 (µg/g)	
		Ácido oléico	5.32 (µg/g)	
		Ácido esteárico	5.06 (µg/g)	
		Ácido araquídico	2.39 (µg/g)	
		Ácido 13-docosenoico	2.44 (µg/g)	
		Ácido 15-tetracosenoico	2.88 (µg/g)	
		Ácido lignocérico	4.29 (µg/g)	
Semilla	Egipto	Ácido mirístico	0.31 %	Alkhalaf y col. (2019)
		Ácido miristoleico	0.27 %	
		Ácido palmítico	14.72 %	
		Ácido palmitoleico	0.19 %	
		Ácido esteárico	0.87 %	
		Ácido oléico	75.16 %	
		Ácido linoleico	3.37 %	
		Ácido α-linolénico	3.57 %	
		Ácido eicosadienoico	0.15 %	
		Ácido eicosatrienoico	0.19 %	
Pulpa	Egipto	Ácido mirístico	1.28 %	Alkhalaf y col. (2019)
		Ácido miristoleico	1.22 %	
		Ácido palmítico	20.05 %	
		Ácido palmitoleico	3.66 %	
		Ácido esteárico	3.36 %	
		Ácido oléico	25.30 %	
		Ácido linoleico	39.40 %	
		Ácido α-linolénico	2.62 %	
		Ácido eicosadienoico	1.86 %	
Ácido eicosatrienoico	1.22 %			
Pulpa	Brasil (Breda)	Ácido palmítico	19.90 %	Krumreich y col. (2018)
		Ácido palmitoleico	6.50 %	
		Ácido oléico	59.30 %	
		Ácido linoleico	10.60 %	
		Ácido linolénico	0.50 %	
		Ácido docosadienoico	0.80 %	
		Ácido tricosanoico	2.40 %	
Pulpa	México (Hass)	Ácido tridecanoico	0.284 mg/100 g MF	Villa-Rodríguez y col. (2011)
		Ácido mirístico	0.068 mg/100 g MF	
		Ácido palmítico	44.81 mg/100 g MF	
		Ácido esteárico	3.43 mg/100 g MF	

Continúa...

		Ácido palmitoleico	14.66 mg/100 g MF	
		Ácido cis-10-heptadecenoico	0.42 mg/100 g MF	
		Ácido oléico	297.76 mg/100 g MF	
		Ácido cis-13,16Docosadienico	1.69 mg/100 g MF	
		Ácido linoleico	50.06 mg/100 g MF	
		Ácido α -linolénico	11.53 mg/100 g MF	
Pulpa	Chile (Hass)	Ácido oléico	29.2 g/mL	García-Rojas y col. (2016)
		Ácido palmítico	4.1 g/mL	
		Ácido linoleico	115.9 g/mL	
		Ácido palmitoleico	28.5 g/mL	
		Ácido linolénico	5.2 g/mL	
Pulpa	E.U.A (Hass)	Ácido palmítico	13.65 %	Ali y col. (2020)
		Ácido palmitoleico	3.45 %	
		Ácido oléico	56.95 %	
		Ácido linoleico	12.20 %	
		Ácido linolénico	1.10 %	
		Ácido araquídico	0.73 %	
		Ácido eicosenoico	37.00 %	
Pulpa	Sudáfrica (Hass)	Ácido palmítico	20.49 g/kg MF	Mpai y Sivakumar (2020)
		Ácido palmitoleico	10.46 g/kg MF	
		Ácido oléico	42.3 g/kg MF	
		Ácido linoleico	19.38 g/kg MF	
Pulpa	Perú (Hass)	Ácido palmítico	26.18 mg/g MS	Campos y col. (2020)
		Ácido palmitoleico	12.61 mg/g MS	
		Ácido oléico	40.68 mg/g MS	
		Ácido linoleico	19.48 mg/g MS	
		Ácido α -linoleico	1.05 mg/g MS	

MF: muestra fresca; MS: muestra seca

gena. La variedad nativa mexicana muestra un mayor contenido de aceite en la semilla (20 % a 30 %). Lara-Márquez y col. (2019) documentaron que la citotoxicidad de moléculas lipídicas inhibe la oxidación de ácidos grasos y aumenta la producción de especies reactivas de oxígeno, lo que conduce a una pérdida de potencial mitocondrial en células Caco-2, células de cáncer de colon, lo que explica el efecto anticancerígeno. Además, reportaron 4 compuestos exclusivamente en la semilla del aguacate var. *Drymifolia*, los cuales caracterizan dicha variedad. En general, a estos 4 compuestos se les denomina acetogeninas (avocatinas, ácidos

grasos polihidroxicos, persinas y pahuatinas), y se estima que son promotores de biopelículas bacterianas e inhibidores neurotóxicos. Es importante mencionar que dichos compuestos son derivados de ácidos grasos.

Los extractos lipídicos de la semilla y el fruto de aguacate tienen una actividad inhibidora significativa de radicales oxidantes ABTS y DPPH, lo que se asocia a su capacidad antioxidante. También se ha registrado una inhibición significativa del carcinoma hepatocelular en células HepG2 y HCT116 y el contenido de compuestos fitoquímicos tiene un efecto de laberinto en la

detención del ciclo celular, deteniendo el crecimiento de algunas células cancerosas a través de la estimulación de la apoptosis (muerte auto-programada de la célula) (Alkhalaf y col., 2019).

El extracto cetónico de aguacate contiene carotenoides y tocoferoles que frenan el crecimiento *in vitro* de líneas celulares de cáncer de próstata, tanto dependientes (LNCaP) como independientes (PC-3) de andrógenos (Lu y col., 2005). En tanto que los efectos de los múltiples compuestos bioactivos que existen en el aguacate no pudieron ser reproducidos utilizando únicamente luteína purificada, por lo que se infiere que diversas sustancias bioactivas liposolubles pueden interactuar para producir efectos benéficos a la salud. Es probable que estos carotenoides bioactivos se absorban en el torrente sanguíneo, donde, en sinergismo con otros compuestos fitoquímicos comunes en una dieta de frutas y verduras, pueden contribuir a la reducción significativa del riesgo de cáncer (Lu y col., 2005).

Rodríguez-Sánchez y col. (2013), determinaron que existe una relación entre las acetogeninas presentes en el mesocarpio de la variedad 'Hass' y la actividad antioxidante del fruto. Estos COV pueden intervenir como antioxidantes lipofílicos en alimentos, al actuar como agentes estabilizantes de especies aniónicas y como agentes donadores de hidrógeno.

La hoja de aguacate representa también una fuente importante de compuestos con alta actividad antioxidante, como son ácidos fenólicos (Hexaóxido de ácido dimetil elágico y ácido cafeico-hexosido), flavonoides (Cinchonain, pelargonidin 3-O-glucósido, quercetina-3-glucósido, quercetina-O-desoxihexosido y Kaempferol-O-pentosido) y otros (Perseitol), que podrían ser utilizados como agentes bioactivos para el tratamiento de varias enfermedades, y para el desarrollo de nuevos productos alimenticios (Castro-López y col., 2019).

El aceite de aguacate criollo mexicano tiene mayor contenido fenólico que otros aceites comestibles y exhibe también actividad antiinflamatoria (Espinosa-Alonso y col., 2017).

PaDef, es un péptido proveniente del aguacate, que activa la apoptosis en células de K652, por apoptosis extrínseca, lo que podría implicar la participación de TNF- α . Dicha actividad sugiere que esta defensina tendría la posibilidad de ser una molécula potencial en el tratamiento de leucemia (Flores-Álvarez y col., 2018).

En la Tabla 3 aparecen 11 estudios, 7 de ellos en México, de los cuales 4 fueron en la var. *Drymifolia*, en hoja, pulpa y semilla mediante la extracción de diversos péptidos. Los resultados indican que los extractos se relacionan con la muerte de células de cáncer de próstata y células K562, actividad antioxidante y antiinflamatoria (Rodríguez-Sánchez y col., 2013; Espinosa-Alonso y col., 2017; Flores-Álvarez y col., 2018; Castro-López y col., 2019; Lara-Márquez y col., 2019).

Acerca de los posibles compuestos que inhiben las células de cáncer de próstata, uno de ellos es la luteína, según el reporte de Lu y col. (2005), quienes observaron que este compuesto detuvo el ciclo celular resultante de la regulación negativa de proteína p27. En otras investigaciones, los compuestos obtenidos del extracto de la pulpa de aguacate empleando acetona como solvente, mostraron ser ricos en luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno, α -tocoferol y γ -tocoferol. Estos extractos demostraron capacidad para detener las células de cáncer de próstata PC-3 en el G₂/M y aumentar la expresión de la proteína p27 (Melgar y col., 2018).

En diversos estudios, la actividad anticancerígena la relacionan con la presencia de glutatión, compuesto que destaca por estar presente en mayor proporción que en otros frutos, siendo un potente antioxidante tripéptido que desempeña un papel importante en las vías de desintoxicación y la reducción del estrés oxidativo (Dreher y Davenport, 2013). Es posible que tenga relación con el COV limoneno, ya que posee la capacidad de inhibir la formación de tumores estimulando la enzima glutatión S-transferasa, siendo esta una enzima de-

■ **Tabla 3. Beneficios a la salud de *Persea americana*.**

Table 3. Health benefits of *Persea americana*.

Fuente	Origen	Beneficio	Referencia
Semilla	México (Drymifolia)	Efecto citotóxico en células de cáncer de colón.	Lara-Márquez y col. (2019)
Semilla y pulpa	Egipto	Actividad antioxidante, antiinflamatoria y anticancerígena.	Alkhalaf y col. (2019)
Cáscara	España (Hass)	Actividad antioxidante, antiinflamatoria, antibacteriana, anticancerígena y cardioprotectores.	Figueroa y col. (2018)
Pulpa	E.U.A (Hass)	Inhibición del crecimiento celular de cáncer de próstata.	Lu y col. (2005)
Pulpa	México (Hass)	Actividad antioxidante (acetogeninas) lipofílica	Rodríguez-Sánchez y col. (2013)
Hoja	México (Drymifolia)	Actividad antioxidante	Castro-López y col. (2019)
Pulpa	México (Drymifolia)	Actividad antiinflamatoria	Espinosa-Alonso y col. (2017)
Semilla	México (Hass)	Actividad antioxidante	Araújo y col. (2020)
Epicarpio	México (Hass)	Actividad antifúngica	Jiménez-Velázquez y col. (2020)
Pulpa	México (Drymifolia)	Citotoxicidad de PaDef defensina en células de leucemia mieloide crónica K562	Flores-Álvarez y col. (2018)
Pulpa	Egipto (Hass y Red)	Actividad citotóxica y antimicrobiana	Younis y col. (2020)

sintoxicante que cataliza la reacción del glutatión con electrófilos peligrosos, para formar compuestos menos tóxicos y más solubles en agua, que puedan ser excretados del organismo fácilmente. En algunas pruebas preliminares, pacientes con cáncer reciben limoneno oralmente para probar su efectividad terapéutica (Craig, 1997). Las acetogeninas alifáticas (avocatinas, persinas y pahuatinas), inhibieron la proliferación celular en células cancerosas orales humanas, mediante la contención de la vía EGFR/RAS/RAF/MEK/ERK1/2 al disminuir EGFR (Tyr1173), fosforilación de c-RAF (Ser338) y ERK1/2 (Thr202/Tyr204) (Cascinu y col., 2002; Ding y col., 2009; D' Ambrosio y col., 2011; Naveed y col., 2018).

Otros trabajos se enfocaron en la actividad antiinflamatoria del aguacate. El estudio del ex-

tracto acuoso de sus hojas demostró un efecto antiinflamatorio efectivo *in vivo*, inhibiendo el edema en la pata de rata inducido por carragenina (Adeyemi y col., 2002); la reducción de óxido nítrico sintasa y ciclooxigenasa-2, en macrófagos murinos activados, se debe a la perisenona A y B (Kim y col., 2000). En cuanto a la actividad anti-oxidante, existen una gran diversidad de compuestos que la favorecen, como es el caso del ácido gálico, vanílico y ferúlico, quercetina, catequina, epicatequina, ácido neoclorogénico, procianidinas B1 y B2, vitamina E, α -tocoferol, ácido clorogénico (Lu y col., 2005; Bhattacharyya y col., 2010; Ortega-Arellano y col., 2019; Santana y col., 2019). Para la identificación y cuantificación de los compuestos anteriores en aguacate se han utilizado diversas técnicas, entre ellas por ácido 2, 2'-azino-bis -3-etil-benzotiazolin-6-sulfónico (ABTS, por sus siglas

en inglés: 2,20-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid diammonium salt)), 2, 2- Difencil-1-picrilhidrazilo (DPPH, por sus siglas en inglés: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), capacidad de absorción de radicales oxígeno (ORAC, por sus siglas en inglés: oxygen radical absorbance capacity), capacidad antioxidante reductora cúprica (CUPRAC, por sus siglas en inglés: cupri-reducing antioxidant capacity), poder antioxidante reductor férrico (FRAP, por sus siglas en inglés: ferric-reducing ability of plasma), cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés: high-performance liquid chromatography), cromatografía líquida de alta resolución-espectrometría de masas (HPLC-MS, por sus siglas en inglés: high-performance liquid chromatographymass spectrometry) cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS, por sus siglas en inglés: gas chromatography-mass spectrometry) y cromatografía de gases mediante detector de ionización de flama (GC-FID, por sus siglas en inglés: gas chromatography-flame ionization detector) (Bhuyan y col., 2019). Por lo que de acuerdo con el consenso de información que realizó Bhuyan y col. (2019), en donde los compuestos fenólicos, carotenoides, tocoferoles y acetogeninas, antioxidantes significativos que se encuentran en el aguacate, se han relacionado positivamente con los compuestos fenólicos con la capacidad antioxidante, aumentando a la par, ya que los compuestos fenólicos reducen la oxidación, inflamación y agregación plaquetaria. Cabe resaltar que dicha actividad es mayor en hojas, cáscara y semilla, en comparación con pulpa, así mismo, entre mayor es la etapa de maduración, los compuestos fenólicos aumentan.

Aunque el aguacate ha sido reconocido por sus efectos benéficos a la salud, se ha informado toxicidad aguda animal por el consumo de la pulpa y hojas, reportándose que la hoja induce daño en el miocardio y en las glándulas mamarias en animales (Jimenez y col., 2020). En este sentido, en estudios realizados con extracto metanólico de pulpa y hoja de aguacate se descubrió que tienen efectos genotóxicos sobre linfocitos periféricos humanos cultivados (Kul-

karni y col., 2010). Sin embargo, en otro estudio, el extracto acuoso de aguacate no presentó toxicidad en ratas macho adultas (Ozolua y col., 2009). Finalmente, se ha descubierto que el compuesto con mayor toxicidad del aguacate es la persina, la cual tiene efecto sobre la glándula lactante en dosis entre 60 mg/kg y 10 mg/kg (Oelrichs y col., 1995), por lo que hacen falta estudios sobre el tipo de extracción que se podría utilizar y la dosis correcta a administrar.

Los diversos estudios *in vitro*, *in vivo* y preclínicos, han ayudado a formular la posible obtención de compuestos con acción farmacológica o tratamientos de atención o prevención para diversas enfermedades a partir de la planta de aguacate, pero se necesita una mayor investigación al respecto.

Acorde con la información descrita en el presente trabajo, es importante resaltar que, de las investigaciones realizadas en aguacate, sobresale en su mayoría las efectuadas en variedades comerciales como la Hass. La información obtenida resultó ser limitada en *P. americana* variedad *Drymifolia* sobre la caracterización del perfil de compuestos orgánicos volátiles y del perfil de ácidos grasos y la relación con su ubicación geográfica en México. Por lo tanto, para futuras investigaciones, se propone determinar tanto el perfil de ácidos grasos como el de compuestos orgánicos volátiles, para así resaltar los compuestos que los tipifiquen y le confieran la importancia que se desea dar a conocer sobre *P. americana* variedad *Drymifolia*.

CONCLUSIONES

Los ácidos grasos están estrechamente relacionados con la síntesis de algunos compuestos orgánicos volátiles (COV), estos últimos le confieren diversas características organolépticas al aguacate. Tanto la localización geográfica del aguacate como su relevante contribución a la salud están relacionadas con el contenido de ácidos grasos, los cuales, permiten ser considerados como una importante variable para futuras clasificaciones, aunado a ello, conociendo el perfil de COV complementaría dicha propuesta. Por otro lado, los compuestos fitoquí-

micos presentes en aguacates nativos y en diversos híbridos se consideran compuestos bioactivos, a los que se les han atribuido diferentes cualidades anticancerígenas, antiinflamatorias, antioxidantes y efecto cardioprotector, entre otras, lo que motiva a profundizar en investigaciones futuras para darle la importancia a este tipo de sustancias. Por lo que, el aguacate, además de consumirse en fresco, podría llevar a establecer procesos de aprovechamiento integral que permitan utilizar al fruto o a sus subproductos como fuente de ingredientes de grado alimenticio o farmacéutico, entre otros. Sin embargo, los estudios para establecer la inges-

ta segura y niveles de administración de los extractos de aguacate han mostrado, en algunos casos, cierto grado de toxicidad. Se requieren más investigaciones para evaluar el potencial terapéutico del aguacate, así como para comprender la biodisponibilidad y la farmacocinética de los fitoquímicos presentes.

AGRADECIMIENTOS

Autores agradecen la beca otorgada (1011431) por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) para realizar sus estudios de posgrado y al Tecnológico Nacional de México por el fomento a la investigación.

REFERENCIAS

- Acosta, E., Almeyda, I. H. y Hernández, I. (2013). Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región norte. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(4): 531-542.
- Acosta, E., Hernández, I. y Almeyda, I. H. (2012). Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región sur. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(2): 245-257.
- Adeyemi, O., Pkpo, S., and Ogunti, O. (2002). Analgesic and anti-inflammatory effects of *Persea americana* Mill (Lauraceae). *Fisioterapia*. 52: 2311-2323.
- Ali, S., Plotto, A., Scully, B. T., Wood, D., Stover, E., Owens, N., ..., and Bai, J. (2020). Fatty acid and volatile organic compound profiling of avocado germplasm grown under East-Central Florida conditions. *Scientia Horticulturae*. 261: 109080.
- Alkhalaf, M. I., Alansari, W. S., Ahmed, E. A., and Elhawalwy, M. E. A. (2019). Anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-cancer activities of avocado (*Persea americana*) fruit and seed extract. *Journal of King Saud University - Science*. 31(4): 1358-1362.
- Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Govea-Salas, M., Pintado, M. E., and Aguilar, C. N. (2020). Process optimization of microwave-assisted extraction of bioactive molecules from avocado seeds. *Industrial Crops & Products*. 154: 112623.
- Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., and Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*. 80: 51-60.
- Bhattacharyya, S. S., Paul, S., Dutta, S., Boujedaini, N., and Khuda-Bukhsh, A. R. (2010). Anti-oncogenic potentials of a plant coumarin (7-hydroxy-6-methoxy coumarin) against 7,12-dimethylbenz [a] anthracene-induced skin papilloma in mice: The possible role of several key signal proteins. *Chinese Journal Integrative Medicine*. 8(7): 645-654.
- Bhuyan, D. J., Alsherbiny, M. A., Perera, S., Low, M., Basu, A., Devi, O. A., ..., and Papoutsis, K. (2019). The Odyssey of Bioactive Compounds in Avocado (*Persea americana*) and Their Health Benefits. *Antioxidants*. 8(10): 426.
- Campos, D., Teran-Hilares, F., Chirinos, R., Aguilar-Galvez, A., García-Ríos, D., Pacheco-Avalos, A., and Padreschi, R. (2020). Bioactive compounds and antioxidant activity from harvest to edible ripeness of avocado cv. Hass (*Persea americana*) throughout the harvest seasons. *International Journal of Food Science and Technology*. 55(5): 2208-2218.
- Campuzano-Granados, A. J. and Cruz-López, L. (2021). Comparative analysis of floral volatiles between the 'Hass' variety and Antillean race avocado. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 27(1): 19-26.
- Canto, E. M., Tieman, D. M., Sargent, S. A., Klee, H. J., and Huber, D. J. (2013). Volatile profiles of ripening West Indian and Guatemalan-West Indian avocado cultivars as affected by aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*. 80: 37-46.
- Carvalho, C. P., Bernal, J., Velázquez, M. A., and Cartagena J. R. (2015). Fatty acid content of avocados (*Persea americana* Mill. cv. Hass) in relation to orchard altitude and fruit maturity stage. *Agronomía Colombiana*. 33(2): 220-227.
- Cascinu, S., Catalano, V., Cordella, L., Labianca, R., Giordani, P., Baldelli, A. M., ..., and Catalano, G. (2002). Neuroprotective effect of reduced glutathione on oxaliplatin-based chemotherapy in advanced colorectal cancer: A

- randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Journal of Clinical Oncology*. 20(16): 3478-3483.
- Castro-López, C., Bautista-Hernández, I., González-Hernández, M. D., Martínez-Ávila, G. C. G., Rojas, R., Gutiérrez-Díez, A., ..., and Aguirre-Arzola, V. E. (2019). Polyphenolic profile and antioxidant activity of leaf purified hydroalcoholic extracts from seven Mexican *Persea americana* cultivars. *Molecules*. 24(1): 173.
- Cho, K., Goldstein, B., Gounaridis, D., and Newell, J. P. (2021). Where does your guacamole come from? Detecting deforestation associated with the export of avocados from Mexico to the United States. *Journal of Environmental Management*. 278: 111482.
- Craig, W. J. (1997). Phytochemicals: guardians of our health. *Issues in Vegetarian Dietetics*. 5(3): 1-8.
- D' Ambrosio, S. M., Han, C., Pan, L., Kinghorn, A. D., and Ding, H., (2011). Aliphatic acetogenin constituents of avocado fruits inhibit human oral cancer cell proliferation by targeting the EGFR/RAS/RAF/MEK/ERK1/2 pathway. *Biochemical Biophysical Research Communications*. 409(3): 465-469.
- Damián-Nava, A., Palemón-Alberto, F., Moreno-Juárez, J., Hernández-Castro, E., Damián-Díaz, P. E., Vargas-Álvarez, D., ..., and Reyes-García, G. (2017). Characterization of creole avocado fruits harvested from both central and northern regions of Guerrero, Mexico. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*. 4(10): 151-159.
- Dávila-Aviña, J. E. J., González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J. F., Sepúlveda, D. R. y Olivás, G. I. (2011). Compuestos volátiles responsables del sabor del tomate. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 34(2): 133-143.
- Ding, H., Han, C., Guo, D., Chin, Y. W., Ding, Y., Kinghorn, A. D., and D' Ambrosio, S. M. (2009). Selective induction of apoptosis of human oral cancer cell lines by avocado extracts via a ros-mediated mechanism. *Nutrition and Cancer*. 61(3): 348-356.
- Dreher, M. L. and Davenport, A. J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53(7): 738-750.
- Edwards, C. G., Walk, A. M., Thompson, S. V., Reeser, G. E., Burd, N. A., Holscher, H. D., and Khan, N. A. (2020). Effects of 12-week avocado consumption on cognitive function among adults with overweight and obesity. *International Journal of Psychophysiology*. 148: 13-24.
- Espinosa-Alonso, L. G., Paredes-López, O., Valdez-Morales, M., and Oomah, B. D. (2017). Avocado oil characteristics of Mexican creole genotypes. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 119(10): 1600406.
- Figuroa, J. G., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J., and Segura-Carretero A. (2018). Comprehensive identification of bioactive compounds of avocado peel by liquid chromatography coupled to ultra-high-definition accurate-mass Q-TOF. *Food Chemistry*. 245: 707-716.
- Flores-Álvarez, L. J., Guzmán-Rodríguez, J. J., López-Gómez, R., Salgado-Garciglia, R., Ochoa-Zarzosa, A., and López-Meza, J. E. (2018). PaDef defensin from avocado (*Persea americana* var. *Drymifolia*) is cytotoxic to K562 chronic myeloid leukemia cells through extrinsic apoptosis. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*. 99: 10-18.
- García-Rojas, M., Morgan, A., Gudenschwager, O., Zamudio, S., Campos-Vargas, R., González-Agüero, M., and Defilippi, B. G. (2016). Biosynthesis of fatty acids-derived volatiles in Hass avocado is modulated by ethylene and storage conditions during ripening. *Scientia Horticulturae*. 202: 91-98.
- Guo, J., Yue, T., Yuan, Y., Sun, N., and Liu, P. (2020). Characterization of volatile and sensory profiles of apple juices to trace fruit origins and investigation of the relationship between the aroma properties and volatile constituents. *LWT - Food Science and Technology*. 124: 109203.
- Jimenez, P., Garcia, P., Quitral, V., Vasquez, K., Parra-Ruiz, C., Reyes-Farias, M., ..., and Soto-Covasich, J. (2020). Pulp, Leaf, Peel and Seed of Avocado Fruit: A review of bioactive compounds and healthy benefits. *Food Reviews International*. 1-37.
- Jiménez-Velázquez, P., Valle-Guadarrama, S., Alía-Tejacal, I., Salinas-Moreno, Y., García-Cruz, L., Pérez-López, A., and Guerra-Ramírez, D. (2020). Separation of bioactive compounds from epicarp of 'Hass' avocado fruit through aqueous two-phase systems. *Food and Bioprocess Technology*. 13: 238-250.
- Kim, O. K., Murakami, A., Nakamura, Y., Takeda, N., Yoshizumi, H., and Ohigashi, H. (2000). Novel nitric oxide and superoxide generation inhibitors, persenone A and B, from avocado fruit. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 48: 1557-1653.
- Krumreich, F. D., Borges, C. D., Mendonça, C. R. B., Jansen-Alves, C., and Zambiazzi, R. C. (2018). Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. *Food Chemistry*. 257: 376-381.
- Kulkarni, P., Paul, R., and Ganesh, N. (2010). Evaluation of Genotoxicity of Avocado (*Persea Americana*) Fruit and Leaf Extracts in Human Peripheral Lymphocytes. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*. 28(3): 172-187.
- Lara-Márquez, M., Báez-Magaña, M., Raymundo-Ramos, C., Spagnuolo, P. A., Macías-Rodríguez, L., Salgado-Garciglia, R., ..., and López-Meza, J. E. (2019). Lipid-rich extract

- from Mexican avocado (*Persea americana* var. *Drymifolia*) induces apoptosis and modulates the inflammatory response in Caco-2 human colon cancer cells. *Journal of Functional Foods*. 64: 103658.
- Lu, Q. Y., Arteaga, J. R., Zhang, Q., Huerta, S., Go, V. L. W., and Heber, D. (2005). Inhibition of prostate cancer cell growth by an avocado extract: role of lipid-soluble bioactive substances. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 16: 23-30.
- Mahendran, T., Brennan, J. G., and Hariharan, G. (2018). Aroma volatiles components of 'Fuerte' Avocado (*Persea americana* Mill.) stored under different modified atmospheric conditions. *Journal of Essential Oil Research*. 31(21): 1-9.
- Melgar, B., Días, I. M., Ciric, A., Sokovic, M., García-Castello, E. M., Rodríguez-López, A. D., ..., and Ferreira, I. C. R. F. (2018). Bioactive characterization of *Persea americana* Mill. by-products: A rich source of inherent antioxidants. *Industrial Crops & Products*. 111: 212-218.
- Mpai, S. and Sivakumar, D. (2020). Influence of growing seasons on metabolic composition, and fruit quality of avocado cultivars at 'ready-to-eat stage'. *Scientia Horticulturae*. 265: 109-159.
- Naveed, M., Hejazi, V., Abbas, M., Kamboh, A. A., Khan, G. J., Shumzaid, M., ..., XiaoHui, Z. (2018). Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research. *Biomed Pharmacother*. 97: 67-74.
- Oelrichs, P. B., Ng, J. C., Seawright, A. A., Ward, A., Schäffeler, L., and MacLeod, J. K. (1995). Isolation and identification of a compound from avocado (*Persea Americana*) Leaves which causes necrosis of the acinar epithelium of the lactating mammary gland and myocardium. *Natural Toxins*. 3(5): 344-349.
- Ortega-Arellano, H. F., Jimenez-Del-Rio, M., and Velez-Pardo, C. (2019). Neuroprotective effects of methanolic extract of avocado *Persea americana* (var. *Colinred*) peel on paraquat-induced locomotor impairment, lipid peroxidation and shortage of life span in transgenic knockdown parkin drosophila melanogaster. *Neurochemical Research*. 44(8): 1986-1998.
- Ozolua, R. I., Anaka, O. N., Okpo, S. O., and Idogun, S. E. (2009). Acute and Sub-Acute toxicological assessment of the aqueous seed extract of *Persea Americana* Mill (Lauraceae) in Rats. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*. 6(4): 573-578.
- Pedreschi, R., Hollak, S., Harkema, H., Otma, E., Robledo, P., Westra, E., ..., and Defilippi, B. G. (2016). Impact of postharvest ripening strategies on 'Hass' avocado fatty acid profiles. *South African Journal of Botany*. 103: 32-35.
- Poll, L., Nielsen, G. S., Varming, C., and Petersen, M. A. (2006). Aroma changes from raw to processed products in fruits and vegetables. *Developments in Food Science*. 43: 239-244.
- Richard, D., Kefi, K., Barbe, U., Bausero, P., and Visioli, F. (2008). Polyunsaturated fatty acids as antioxidants. *Pharmacological Research*. 57: 451-455.
- Rodríguez-Sánchez, D., Silva-Platas, C., Rojo, R. P., García, N., Cisneros-Zevallos, L., García-Rivas, G., and Hernández-Brenes, C. (2013). Activity-guided identification of acetogenins as novel lipophilic antioxidants present in avocado pulp (*Persea americana*). *Journal of Chromatography B*. 942: 37-45.
- Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R. E. y Álvarez-Bravo, A. (2016). Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(2): 277-289.
- Santana, I., Castelo-Branco, V. N., Guimarães, B. M., de-Oliveira-Silva, L., Peixoto, V. O. D. S., Cabral, L. M. C., ..., and Torres, A. G. (2019). Hass avocado (*Persea americana* Mill.) oil enriched in phenolic compounds and tocopherols by expeller-pressing the unpeeled microwave dried fruit. *Food Chemistry*. 286: 354-361.
- Tiwari, S., Kate, A., Mohapatra, D., Tripathi, M. K., Ray, H., Akuli, A., ..., and Modhera, B. (2020). Biomarkers for quality management of horticultural commodities during storage through e-sensing. *Trends in Food Science y Technology*. 106: 417-433.
- Torres-Gurrola, G., Montes-Hernández, S., and 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.
- Turner, B. L. and Miksicek, C. H. (1984). Economic plant species associated with prehistoric agriculture in the Maya lowlands. *Economic Botany*. 38(2): 179-193.
- Villa-Rodríguez, J. A., Molina-Corral, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Olivas, G. I., and González-Aguilar G. A. (2011). Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. *Food Research International*. 44(5): 1231-1237.
- Younis, I., Hifnawy, M. S., El-Hawary, S. S., El Bishbishy, M. H., and Elateek, S. Y. (2020). Bioactive metabolites of hass and reed avocados targeting methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* enterotoxin like X via molecular modeling and cytotoxicity assessments. *Natural Product Research*. 1-5.