

Transformación y agroindustria

Artículo de investigación científica y tecnológica

Propiedades composicionales, estructurales y fisicoquímicas de las semillas de aguacate y sus potenciales usos agroindustriales

Compositional, structural and physicochemical properties of avocado seeds and their potential agro-industrial uses

 Ndahita de Dios Avila ¹  Juan Manuel Tirado-Gallegos ¹  Claudio Rios-Velasco ²
 Gregorio Luna Esquivel ³  Mario Orlando Estrada Virgen ³
 Octavio Jhonathan Cambero Campos ^{3*}

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México.

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Chihuahua, México.

³ Universidad Autónoma de Nayarit, Nayarit, México.

*Autor de correspondencia: Octavio Jhonathan Cambero Campos. Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, km. 9, carretera Tepic-Compostela, Xalisco, C. P. 63780, México. jhony695@gmail.com

Recibido: 01 de julio de 2021
Aprobado: 08 marzo de 2023
Publicado: 03 de abril de 2023

Editor temático: Pablo Emilio Rodríguez Fonseca, (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA]), Rionegro, Antioquia, Colombia.

Para citar este artículo: de Dios Avila, N., Tirado-Gallegos, J. M., Rios-Velasco, C., Luna Esquivel, G., Estrada Virgen, M. O., & Cambero Campos, O. J. (2023). Propiedades composicionales, estructurales y fisicoquímicas de las semillas de aguacate y sus potenciales usos agroindustriales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e2607. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2607

Resumen: El fruto de aguacate es uno de los productos más exitosos de la producción e industrialización agroalimentaria de México. Se puede consumir fresco o procesado en una gran variedad de productos derivados. Durante su procesamiento, se generan una gran cantidad de residuos agroindustriales como la semilla del aguacate, la cual tiene componentes valiosos y con potencial de ser utilizada en diversas industrias como ingrediente en la formulación de productos funcionales. El objetivo de esta investigación fue resumir el conocimiento actual de la composición, la estructura, las propiedades y las posibles aplicaciones industriales de las semillas de aguacate y sus principales subproductos. Además, este estudio se realizó de acuerdo con la declaración Prisma, para lo cual se hizo una búsqueda bibliográfica y sistemática de artículos de investigación de los últimos 20 años en diferentes bases de datos, tomándose en cuenta diversos criterios de inclusión y exclusión. Entre los resultados, se encontró que la obtención de almidones y compuestos bioactivos a partir de la semilla de aguacate es la categoría más estudiada, siendo Nigeria, México y Estados Unidos los países con más reportes relacionados durante 2015-2020. La conclusión es que existe un creciente interés por la revalorización de las semillas de aguacate, debido a que se considera una fuente potencial de diversos componentes como vitaminas, minerales, antioxidantes, ácidos grasos saludables, carbohidratos, entre otros, y con posibles aplicaciones industriales para el desarrollo productos funcionales con valor agregado.

Palabras clave: aceite de aguacate, *Persea americana* Miller, almidón, biocompuestos, colorantes, harina.

Abstract: The avocado fruit is one of the most successful products of agri-food production and industrialization in Mexico. It can be consumed fresh or processed in a wide variety of derived products. During its processing, a large amount of agro-industrial waste is generated, such as avocado seed, which has valuable components, with the potential to be used in various industries as an ingredient in the formulation of functional products. The objective of this research was to summarize the current knowledge of the composition, structure, properties and possible industrial applications of avocado seeds, and their main by-products. This study was carried out in accordance with the PRISMA declaration, for which a systematic bibliographic search of research articles from the last 20 years in different databases was used; taking into account various inclusion and exclusion criteria. It was found that obtaining starches and bioactive compounds from the avocado seed are the most studied categories. Being Nigeria, Mexico and the United States of America the countries with the most related reports during 2015-2020. It is concluded that there is a growing interest in the revaluation of avocado seeds, because it is considered a potential source of various components such as vitamins, minerals, antioxidants, healthy fatty acids, carbohydrates, among others, with possible industrial applications for the development of functional products with added value.

Keywords: biocomposites, *Persea americana* Miller, colorants, oil, flour, starch, avocado oil.



Introducción

En las últimas décadas, los residuos agroindustriales están siendo motivo de estudio, buscando su potencial uso o explotación como materia prima para la obtención de productos con valor agregado y sumándose este esfuerzo a la reducción del impacto ambiental que dichos residuos ocasionan (Mejías et al., 2016). De acuerdo con Vargas y Pérez (2018), los residuos agroindustriales presentan una fracción orgánica como característica común, sin embargo, es necesario conocer su composición química, su cantidad y su calidad de componentes antes de ser usados, para así seleccionar el proceso o el sector donde pueden ser aprovechados sin sufrir transformación o, según el caso, con las tecnologías apropiadas para su transformación en productos con alto valor agregado

El cultivo de aguacate *Persea americana* Miller se ha extendido a diversas regiones tropicales del mundo, aumentando su superficie establecida hasta en un 15,5 % del 2017 al 2019, es decir, de 628.825 a 726.660 ha, con una producción cercana a los 7,1 millones de toneladas (con un incremento anual del 6,1 %) (Faostat, 2019), donde entre los principales países productores de aguacate están Colombia, Indonesia, Perú, República Dominicana y México, este último aporta el 32 % de la producción (Faostat, 2019).

El cultivo de aguacate en México genera divisas considerables para productores, comercializadores e industrializadores, con un valor de producción anual de 49.481 millones de pesos (SIAP, 2019), donde más del 54 % se exporta a Estados Unidos, Japón y Canadá, y el resto se destina al mercado nacional para su consumo en fresco (Sagarpa, 2017) y para la elaboración de una amplia variedad de productos industriales, como guacamole, mitades, cubitos congelados y aceite (Bustos et al., 2015). De acuerdo con Surukite et al. (2013), el 66 % del peso total del fruto corresponde a la pulpa, mientras que la semilla y la piel ocupan el 20 % y el 14 %, respectivamente, dependiendo del cultivar.

Derivado del uso de la pulpa de aguacate en la industria mexicana, se estima que son desechadas alrededor de 460 mil toneladas de semillas de aguacate (SIAP, 2019), representando ello una fuente de contaminación ambiental por la emisión de metano, lixiviados y de contaminación atmosférica por su incineración (Asim et al., 2015). Esta revisión tuvo como objetivo evidenciar las potenciales alternativas de aprovechamiento de las semillas de aguacate, además de dar a conocer la estructura y la calidad de los subproductos obtenidos a partir de estas semillas.

Materiales y métodos

Estrategia de búsqueda: bases de datos y criterios de inclusión

Esta revisión sistemática siguió las recomendaciones de la guía Prisma (por sus siglas en inglés *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) para la elaboración de revisiones sistemáticas y metaanálisis (Urrutia & Bonfill, 2010). La búsqueda fue realizada en las siguientes bases de datos: ScienceDirect, Scopus, SciELO, Google Scholar, Web of Science y Research-

Gate, el 13 de enero del 2020, utilizando las siguientes palabras clave: subproductos, semilla de aguacate, harina, biocompuestos, aceites, colorantes, almidón, propiedades, estructura, composición, amilosa y Hass.

Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

- a) Artículos publicados en el periodo comprendido entre 2000 y 2020.
- b) Escritos en inglés o español.
- c) Exclusivamente obtenidos a partir de semillas de aguacate.
- d) Completos y disponibles.

Por otro lado, los criterios considerados para la exclusión fueron:

- a) Que no aborden el aprovechamiento de la semilla de aguacate.
- b) No disponibles.
- c) Sin estructura de investigación científica.

Una vez revisados los trabajos de esta búsqueda, se han incluido los que por su título o resumen se consideraron investigaciones potenciales. De estos artículos, se obtuvo la versión completa del trabajo con su respectiva cita, para posteriormente analizarla y evaluarla, mientras que se desecharon las investigaciones que cumplieron con al menos un criterio de exclusión. Asimismo, las citas encontradas fueron importadas al *software* de gestión de referencias EndNote Web, en el cual se eliminaron las duplicadas entre las bases de datos y los artículos fueron agrupados dentro de una categoría única (tabla 1).

Resultados y discusión

Estrategia de búsqueda: bases de datos y criterios de inclusión

Después de realizar la búsqueda, se obtuvieron un total de 62 archivos, los cuales cumplieron con los criterios de selección. Del total de archivos analizados, 53 investigaciones estuvieron en formato de artículos, 3 fueron conferencias, 4 eran capítulos de libros y 2 resultaron ser bases de datos, todos provenientes de 20 países diferentes. Los estudios se realizaron en los siguientes contextos: Argentina (1), Australia (1), Brasil (8), Canadá (1), China (1), Colombia (3), España (2), Etiopía (1), Filipinas (1), Ghana (1), Grecia (1), India (2), Indonesia (6), Corea (1), Malasia (1), México (8), Nigeria (12), Reino Unido (1), Suecia (1) y Estados Unidos (9).

Uno de los criterios de inclusión fue que fueran artículos publicados en el periodo comprendido entre 2000 y 2020, donde se observó que, a partir del 2015, se presentó una tendencia creciente de este tipo de investigaciones sobre la revalorización de la semilla de aguacate y, en 2018, se publicó el mayor número de estudios (figura 1).

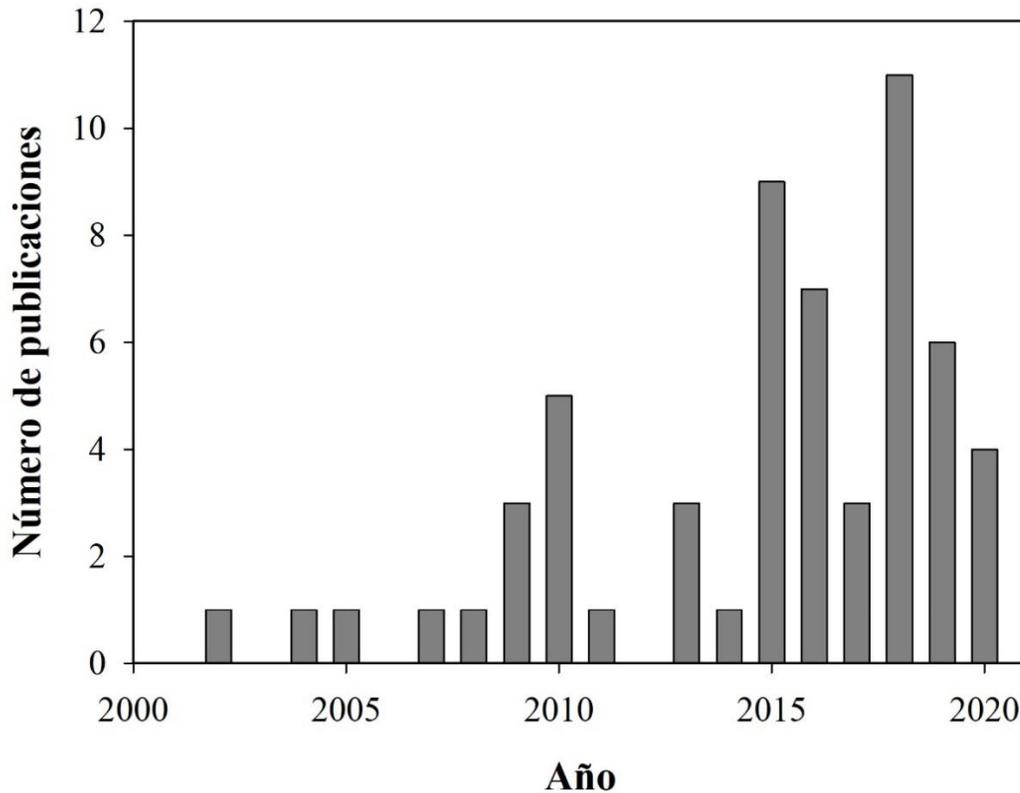


Figura 1. Número de publicaciones sobre el tema por año (2000-2020)

Fuente: Elaboración propia

Este alto número de publicaciones durante los últimos años puede ser atribuido a que existe un creciente interés social y cultural por las soluciones sostenibles para el reciclaje y la valorización de los subproductos alimentarios para su reincorporación a las cadenas industriales.

Por otro lado, los documentos analizados fueron agrupados en seis categorías (tabla 1), según el contenido y los objetivos de cada investigación. En la figura 2 se observa que el mayor porcentaje de publicaciones se desarrolló en torno al aprovechamiento de la semilla de aguacate para la obtención de almidones nativos y modificados, donde en total se evaluaron 26 documentos, de los cuales al menos 15 se concentran en Brasil, Indonesia y Estados Unidos, mientras que el resto se ubican en Canadá, China, India, Corea, México, Nigeria, Reino Unido y Suecia.

Tabla 1. Definición de las categorías (enfoques) abordadas por los artículos

Categoría: Semilla de aguacate como:	Definición	Usos potenciales	Ejemplo
Residuos agroindustriales	Productos orgánicos, generados a partir del uso directo de productos primarios o de su industrialización, no útiles para el proceso que los generó, pero sí susceptibles de un aprovechamiento o transformación.	Fuente alternativa de compuestos bioactivos de interés biotecnológico.	Extracción de productos de alto valor a partir de biomasa de residuos de aguacate (Páramos et al., 2020).
Fuente de compuestos bioactivos	Componentes de los alimentos que influyen en las actividades celulares y fisiológicas, obteniendo, tras su ingesta, un efecto beneficioso para la salud.	Antibacteriano, antifúngico, anticancerígeno y antioxidante para su posible uso dietético y etnomedicinal en industrias alimentarias y farmacéuticas.	Actividad antioxidante e inhibidora del cáncer <i>in vitro</i> de un extracto coloreado de semilla de aguacate (Dabas et al., 2019).
Colorante natural	Son pigmentos orgánicos derivados de fuentes naturales comestibles usando métodos reconocidos de preparación de alimentos.	Para uso en la industria alimenticia, textil, farmacéutica y cosmética, debido a sus atributos como alta estabilidad y pureza de color.	<i>Perseorangina</i> : un pigmento natural de la semilla del aguacate (<i>P. americana</i>) (Hatzakis et al., 2019).
Aceite saludable	Grasas insaturadas y saludables para la dieta humana, debido a su alto contenido de ácidos grasos, principalmente linoleico, oleico y palmítico.	Para ser empleado como insumo en la fabricación de productos nutraceuticos y cosmeceúticos, debido a sus propiedades antioxidantes, antiespasmódicos, antidiabéticos, anticancerígenos y antiinflamatorios.	Estudios cualitativos de análisis proximal y caracterización de aceite de <i>P. americana</i> (Surukite et al., 2013).
Harina	Fuente rica en lípidos y carbohidratos, capaz de aportar energía y suplir las necesidades energéticas diarias.	Para ser utilizada en la formulación de alimentos, debido a que contiene nutrientes sustanciales que podrían satisfacer las necesidades y los requerimientos de humanos y animales.	Composición proximal, biodisponibilidad mineral y propiedades funcionales de harinas de semilla de pera aguacate (<i>P. americana</i>) (Emelike et al., 2020).
Almidón no convencional	Fuente alternativa para la obtención de almidón no convencional.	Uso en la industria alimentaria y no alimentaria, debido a sus propiedades como agente espesante, gelificante, texturizante, encapsulante y en la formación de películas o empaques biodegradables.	Caracterización fisicoquímica y digestión <i>in vitro</i> del almidón de harina de semilla de aguacate (<i>P. americana</i> v. Hass) y sus fracciones amiláceas y fibrosas (Rivera et al., 2019).

Fuente: Elaboración propia



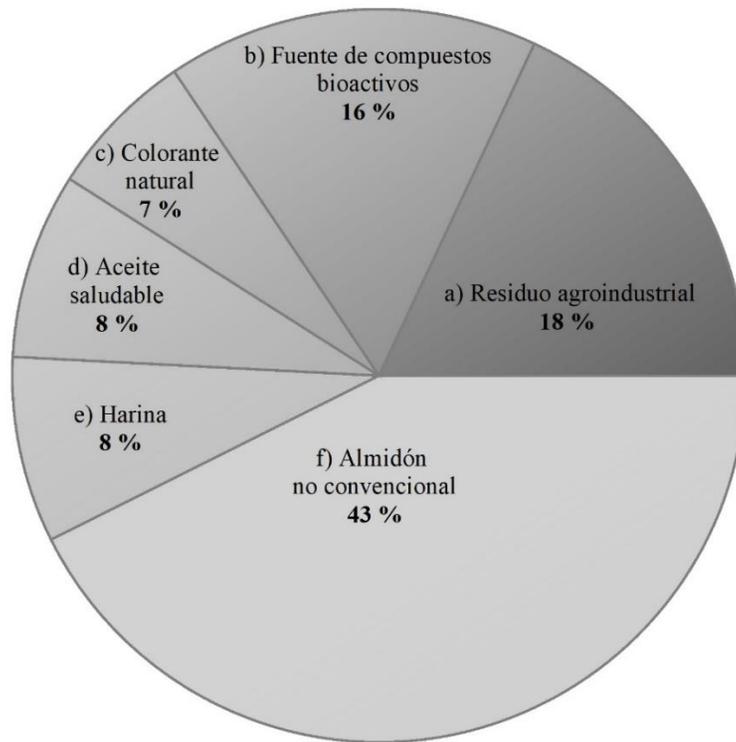


Figura 2. Porcentaje de publicaciones por categoría
Fuente: Elaboración propia

Así, el resto de las publicaciones se distribuyeron entre las siguientes categorías:

- a) Semilla de aguacate como residuo agroindustrial (11).
- b) Semilla de aguacate como fuente de compuestos bioactivos (10).
- c) Semilla de aguacate como colorante natural (4).
- d) Semilla de aguacate como fuente de aceite saludable (5).
- e) Semilla de aguacate como fuente de harina (5).
- f) Semilla de aguacate para la obtención de almidones nativos y modificados (26).

Revalorización de las semillas de aguacate

Se ha evidenciado que las semillas de aguacate, a pesar de ser consideradas como un desecho, concentran una gran diversidad de compuestos bioactivos de interés biotecnológico (Ejiofor et al., 2018). En la última década, se han realizado diversas investigaciones buscando darle un valor agregado y dichos estudios se han enfocado principalmente en evidenciar su potencial como fuentes alternativas no convencionales de harinas (Egbuonu et al., 2018), compuestos fitoquímicos (Dabas et al., 2013), aceites (Ferrari, 2015), colorantes naturales (Dabas et al., 2011)

y almidón (Alves et al., 2017; Chel et al., 2016; Dos Santos et al., 2016). A continuación, se discuten los subproductos derivados de la semilla de aguacate que fueron mencionados recientemente.

Componentes fitoquímicos

La semilla de aguacate es nutricionalmente tan valiosa como las demás partes de la planta, con base en los fitoquímicos y los nutrientes que la constituyen (Belete et al., 2019). De acuerdo con diversos autores, las harinas de las semillas de aguacate están compuestas por minerales (Ca, Zn, K, Na, P, Fe, Cu, Pb y Co), vitaminas (A, B1, B2, B3, C y E), aminoácidos esenciales como lisina, metionina y triptófano, y diversos compuestos fitoquímicos (alcaloides, flavonoides, taninos, saponinas, oxalatos, fenoles, ácidos fíticos y ascórbicos) (Belete et al., 2019; Emelike et al., 2020).

Así, el consumo de semilla de aguacate es recomendable, ya que posee altos contenidos nutricionales que la hacen suficiente para un posible uso dietético y etnomedicinal (Dabas et al., 2013), sin embargo, dentro de los compuestos fitoquímicos presentes en las semillas de aguacate, algunos de estos son tóxicos: el ácido fítico, el oxalato y los taninos, a pesar de que están presentes en mayor cantidad en las semillas frescas, al ser sometidas al procesamiento de secado y desengrasado, ello ayuda en la reducción de los antinutrientes en las harinas de semillas de aguacate, mejorando así la biodisponibilidad de sus minerales y convirtiéndose en materiales aptos para su consumo alimenticio (Belete et al., 2019).

En un estudio reciente, Emelike et al. (2020) determinaron el contenido de calcio en las muestras de harina de semillas de aguacate nativo y desengrasado, mostrando diferencias significativas entre los tratamientos (56,50 mg y 50,55 mg/100 g, respectivamente). Por su parte, la presencia de calcio en los alimentos es fundamental para la prevención de enfermedades, además de ser un componente esencial de los huesos y que ayuda con la contracción y la coagulación de la sangre (Martínez, 2016), sin embargo, ante la presencia de antinutrientes como el ácido fítico y el oxalato, el calcio se adhiere a estos, ocasionando que este mineral no se encuentre disponible para ser absorbido por el intestino delgado (Addo et al., 2018). Por otro lado, los taninos se adhieren a las proteínas digestivas, disminuyendo su capacidad de digestión de alimentos, mientras que las saponinas afectan la salud humana por su capacidad hemolítica (Adegoke et al., 2010).

La mayoría de estos biocompuestos también se han documentado en los extractos de semillas de aguacate, resaltando su potencial antimicrobiano (Raymond & Dykes, 2010). Al respecto, Egbuonu et al. (2018) evaluaron el potencial bactericida y antifúngico de extractos etanólicos de semillas de aguacate, evidenciando dicha actividad contra *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus aureus*, *Aspergillus niger* y *Candida albicans*, siendo estos dos últimos los más susceptibles; así, se concluyó que dicha actividad se le atribuye principalmente a su alto contenido de alcaloides y saponinas, los cuales le confieren una mayor actividad antimicrobiana, por lo que podría usarse en la industria nutraceutica. Adicionalmente, también se ha documentado el potencial antibacteriano de extractos de semillas de aguacate de diversos cultivares (Hass, Fuerte y Shepard), especialmente contra bacterias grampositivas como *Salmonella enteritidis*, *Citrobacter freundii*, *P. aeruginosa* y *Clostridium sporogenes*, atribuyendo su actividad inhibitoria a la presencia de taninos, flavonas de catequina y algunos compuestos polifenoles en dichos extractos (Rodríguez et al., 2013). Además, se ha demostrado su actividad antifúngica sobre *Zygosaccharomyces bailii*, un

hongo de importancia económica en la industria alimenticia (Raymond & Dykes, 2010). Con base en el potencial antimicrobiano de las semillas de aguacate, estas podrían ser utilizadas en aditivos alimenticios. En este sentido, Tremocoldi et al. (2018) evaluaron la extracción ultrasónica con etanol como biosolvente de semillas de aguacate Hass y Fuerte, determinando la presencia de compuestos fenólicos como catequina, epicatequina y procianidinas, lo que les hace interesantes como fuentes para las industrias alimentarias y farmacéuticas y como ingredientes en la formulación de alimentos funcionales.

Obtención de aceite a partir de semillas de aguacate

Los aceites obtenidos a partir de las semillas de aguacate son de alta calidad y con excelentes propiedades nutricionales, pudiendo tener potencial de uso en la industria (Adaramola et al., 2016; Egbuonu et al., 2018). El aceite de semillas de aguacate tiene beneficios nutricionales para la salud humana, lo que convierte a la semilla de aguacate en una fuente alternativa potencial de esta materia prima para su uso en la industria alimenticia y cosmética (Surukite et al., 2013), complementariamente, esta fuente ha sido ampliamente estudiada por otros autores debido a su rica composición en vitaminas, minerales compuestos fenólicos, flavonoides, ácidos grasos y pterinas, ya que le hacen un elemento valioso para las formulaciones alimentarias (Páramos et al., 2020) y presentan rendimientos que oscilan de 2,5 % a 16 %, dependiendo del cultivar y el método de extracción utilizado (Adaramola et al., 2016; Páramos et al., 2020).

El proceso de extracción por solvente basado en Soxhlet es el medio más utilizado para la extracción de aceite de semillas y los disolventes comúnmente empleados son hexano, éter, dietílico, éter de petróleo y etanol, sin embargo, es importante considerar antes de la extracción, la relación del solvente/soluto, la volatilidad relativa del solvente al aceite, la viscosidad y la polaridad del aceite (Yusuf, 2018). Al respecto, Páramos et al. (2020) evaluaron la extracción de aceite de semillas de aguacate Hass al emplear la técnica de Soxhlet y utilizar como solventes el hexano (2,46-3,5 % rendimiento), el acetato de etilo (EtOAc) (3,6 %) y el etanol (EtOH) 8,2-9,5 %, siendo este último el que proporciona un mayor rendimiento; mientras que Adaramola et al. (2016) reportan valores inferiores a 2,5 % al emplear hexano como solvente en la misma fuente, donde, por otro lado, el rendimiento de aceite de semillas de aguacate fue del 16 % (Akubugwo et al., 2008).

Esta fluctuación en el rendimiento puede deberse a las diferencias en las variedades, el clima del cultivo, las etapas de maduración, el tiempo de cosecha de las semillas, el método de extracción o el solvente utilizado (Surukite et al., 2013). Además, la extracción con etanol presenta mayores rendimientos, lo cual se atribuye a que se solubilizan los lípidos polares asociados con la pared celular, rompiendo las interacciones electrostáticas y los enlaces de hidrógenos (Páramos et al., 2020), además, el aceite extraído es líquido a temperatura ambiente, con un color rojo parduzco y olor afrutado (Adaramola et al., 2016).

De acuerdo con Páramos et al. (2020), los principales ácidos grasos presentes en las semillas de aguacate fueron ácido linoleico (44-47 %) y ácido oleico (30-36 %), independientemente del solvente utilizado y, en menor proporción, ácido palmítico (15-19 %) y ácido erúxico (~3 %). Por su parte, Barrera y Arrubla (2017) demostraron que el aceite de semillas de aguacate cv. Lorena presentó contenidos apreciables de fitoesteroles, con potencial para ser empleados como insumos en la fabricación de productos nutracéuticos y cosmeceúticos.

Los índices de yodo contenidos en las semillas de aguacate son altos, debido a la presencia de enlaces insaturados y las grasas insaturadas son saludables en la dieta humana, donde los valores reportados por Akubugwo et al. (2008) en el aceite de semilla de aguacate son altos (52,4 wjjs), es decir, 5,4 veces mayor a los 9,6 wjjs reportados en el aceite de coco (*Cocos nucifera* L.). Asimismo, Adaramola et al. (2016) reportaron valores del índice de yodo bajos (23,5 wjjs) en aceite de semillas de aguacate, lo que sugiere un grado bajo de saturación, por lo que pudiera emplearse como plastificante o lubricante. Otro uso potencial del aceite extraído de semilla de aguacate es en la medicina, debido a sus múltiples propiedades antioxidantes, antiespasmódicas, antidiabéticas, anticancerígenas, antiinflamatorias, antihipertensivas, hipocolesterolémicas, dermatológicas, de hepatoprotección y antimicrobianas (Adaramola et al., 2016; Dabas et al., 2019; Ejiofor et al., 2018).

De acuerdo con Adaramola et al. (2016), el aceite de semillas de aguacate Hass está compuesto principalmente por flavonoides (80 mgQE/g) y contenido fenólico (8,27 mgQE/g), presentando una actividad antioxidante determinada mediante el método de eliminación de radicales libres 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) (51,5 %) y por el poder reductor total del aceite (absorbancia de 0,82). Los altos contenidos de flavonoides y sus compuestos fenólicos en el aceite de semilla de aguacate son, inclusive, mayores que los encontrados en la pulpa, evidencia no solo de sus valores nutricionales e industriales, sino también de su potencial medicinal en la industria farmacéutica (Wang et al., 2010).

Obtención de colorantes naturales a partir de semillas de aguacate

Los colorantes naturales son seguros para la salud humana, por lo tanto, son una alternativa al uso de colorantes sintéticos. Los subproductos de frutas se han convertido en una fuente importante de pigmentos y colores ampliamente utilizados en industria alimenticia, textil, farmacéutica y cosmética, debido a sus atributos como la alta estabilidad y pureza de color (Dabas et al., 2013), así, la producción de colorantes naturales es una alternativa interesante para el uso de residuos con características de tinte (Arlene et al., 2015; Hennessey et al., 2019). Por su parte, diversos compuestos bioactivos con efectos colorantes han sido descritos por Dabas et al. (2011), quienes documentaron la presencia de un pigmento color naranja al triturar las semillas de aguacate, atribuibles a la enzima polifenol-oxidasa y sugiriendo que este pigmento es un compuesto polifenólico.

Por su parte, Wang et al. (2010) documentaron que los carotenoides son los responsables de la presencia de pigmentos en las semillas de aguacate en diversos cultivares. Los carotenoides se utilizan principalmente como colorantes naturales, seguros en alimentos para humanos, además

de proteger las células y los tejidos de los efectos dañinos de los radicales libres, al actuar como antioxidantes biológicos (Oreopoulou & Tzia, 2007).

Los pigmentos han sido extraídos empleando diversos solventes como agua, etanol, cloranfenicol e hidróxido de sodio, siendo este último el más eficiente, logrando un gran poder colorante, por desgracia, este solvente no es adecuado para la extracción de compuestos con actividad antimicrobiana (Hatzakis et al., 2019). Por otro lado, Dabas et al. (2019) obtuvieron extractos coloreados de semillas de aguacate al emplear metanol como solvente, a la par que evaluaron su capacidad antioxidante y bioactiva, de acuerdo con su capacidad *in vitro* para reducir la viabilidad celular e inducir apoptosis en células de cáncer de próstata en humanos, lo que sugiere que dichos extractos pueden tener un papel como ingrediente funcional o como fuente de nuevos antioxidantes naturales y compuestos anticancerígenos.

A propósito, Hatzakis et al. (2019) mencionan a la perseorantina como un nuevo compuesto (componente abundante en las semillas de aguacate que contiene benzotropona), responsable de la coloración de los extractos obtenidos. Así, la perseorantina tiene un gran potencial para ser utilizada en la industria del jabón, ya que se ha demostrado que es capaz de conferir una gama de color naranja estable con el tiempo frente a factores como la luz y el pH, además de presentar características antioxidantes (Hennessey et al., 2019).

Obtención de harinas

Los diversos estudios en harinas obtenidas a partir de semillas de aguacate se han centrado en su composición química y sus contenidos de aceites, minerales, antioxidantes, compuestos fitoquímicos, colorantes y almidón (Mahawan et al., 2015; Okolie et al., 2018; Rivera et al., 2019). Ejiófor et al. (2018) evidenciaron la posibilidad de emplear la semilla de *P. americana* en la formulación de alimentos, debido a que contiene nutrientes sustanciales que podrían satisfacer las necesidades y los requerimientos de humanos y animales. Al respecto, Mahawan et al. (2015) e Ifesan et al. (2015) evaluaron las posibles aplicaciones en la industria alimenticia, en la preparación de galletas y dulces a partir de harinas de semillas de aguacate con diferentes proporciones y, en ambos estudios, se revelaron que los productos obtenidos presentaban excelentes propiedades organolépticas, sin embargo, los autores recomiendan evaluar la toxicidad de algunos compuestos como taninos y oxalatos presentes en su estructura, antes de su inclusión en la formulación de alimentos.

Rendimiento y composición proximal de la harina de semillas de aguacate

Los rendimientos de base seca (bs) de harina de semillas de aguacate dependen del cultivar y las condiciones agroclimáticas de cultivo. En semillas de aguacate cv. Hass se han documentado rendimientos desde el 32,99 % hasta el 46,28 % (Mahawan et al., 2015; Rivera et al., 2019), mientras que para el cultivar Daisy, Dos Santos et al. (2016) reportaron un 36,5 %. Respecto a la composición proximal de la harina de semillas de aguacate, diversos autores han reportado un contenido de humedad en los rangos de 7,25 % a 14,05 % (Mahawan et al., 2015; Okolie et al., 2018; Rivera et al., 2019).

El contenido de proteínas puede fluctuar entre el 2,64 % (Egbuonu et al., 2018) y el 23 % (Ifesan et al., 2015; Rivera et al., 2019), donde la cantidad de proteínas presentes en las harinas puede estar relacionada con las propiedades de procesamiento y absorción de agua, las mismas que modifican los atributos del producto final, como la textura y el aspecto. De acuerdo con Mahawan et al. (2015), estos formularon galletas con diferentes proporciones de harina de semillas de aguacate (25 % y 50 %), las cuales presentaron propiedades organolépticas (aroma, sabor, textura y color) deseables para el consumidor.

Las harinas de semillas de aguacate son de gran aporte calórico por su alto contenido de lípidos (de 14,1 % a 15,73 %) (Ifesan et al., 2015; Okolie et al., 2018), aunque algunos autores reportan un bajo contenido lipídico (0,33-2,71 %) (Egbuonu et al., 2018; Rivera et al., 2019). Estos valores bajos sugieren que esta harina podría ser menos susceptible a la rápida descomposición o enranciamiento durante su almacenamiento (Mahawan et al., 2015).

Por otra parte, los minerales contenidos en las harinas de semillas de aguacate son calcio, cobre, fósforo, hierro, magnesio, sodio, silicio y zinc en cantidades apreciables (Ifesan et al., 2015; Okolie et al., 2018), los cuales son minerales esenciales en la formación de dientes y huesos, la coagulación de la sangre, entre otras funciones del cuerpo (Martínez, 2016).

Los valores del análisis proximal de las harinas de semillas de aguacate se muestran en la tabla 2, donde se evidencia un alto contenido de carbohidratos (85,09 %) (Okolie et al., 2018; Rivera et al., 2019), encontrándose mayor contenido de carbohidratos en las semillas que en la pulpa de aguacate 85,09 % >17,29 % (Okolie et al., 2018), con lo que el alto contenido de carbohidratos de la harina de semilla de aguacate muestra que esta puede ser un mejor alimento, ya que aporta energía y es capaz de suplir las necesidades energéticas diarias del cuerpo si se incorpora a los alimentos (Egbuonu et al., 2018; Emelike et al., 2020).

Tabla 2. Composiciones proximales de harinas de semillas de aguacate cultivar Hass

N.º de repeticiones	*Rend. %	Humedad %	Ceniza %	Proteína %	Lípidos %	CHOS %	Fibra %	Referencia y país
n = 3	NR	13,27	0,84	19,94	15,73	48,21	4,10	Okolie et al. (2018), Nigeria
NR	32,9	14,05	2,83	7,75	0,71	74,65	4,91	Mahawan et al. (2015), Filipinas
n = 3	NR	8,60	2,40	23,0	14,1	44,7	7,1	Ifesan et al. (2015), Nigeria
n = 3	46,20	7,25	1,79	6,70	2,71	81,55	NR	Rivera et al. (2019), México
n = 2	NR	13,09	3,82	2,64	0,33	80,12	2,87	Egbuonu et al. (2018), Nigeria

Notas aclaratorias: *n: número de repeticiones, Rend.: rendimiento, CHOS: carbohidratos y NR: no reportado.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las fuentes consultadas y mencionadas en la tabla 2.

Generalidades de la harina de semilla de aguacate

Las harinas de semillas de aguacate presentan gránulos de almidón de 5 a 30 μm con forma ovalada y superficie lisa, con partículas adheridas, presumiblemente, fibras (Rivera et al., 2019), sin embargo, las propiedades estructurales, térmicas, reológicas y funcionales de estas han sido poco estudiadas, por lo que es de suma importancia generar investigación en torno a sus propiedades estructurales, especialmente, su tipo de patrón de difracción de rayos X y contenido de amilosa, entre otras propiedades.

Las propiedades estructurales de las semillas de aguacate han sido estudiadas mediante espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), donde, al respecto, Rivera et al. (2019) han identificado dos picos intensos alrededor de 1050 cm^{-1} , las mismas que se atribuyen a las zonas amorfo y cristalino, un rasgo característico de los materiales amiláceos. Además, las semillas reportan picos a $1625\text{-}1616\text{ cm}^{-1}$ atribuidos a los estiramientos $\text{C}=\text{O}$, característicos de los grupos aminos I, II, III, presentes en las proteínas y presumiblemente por su alto contenido de proteínas (6,7 %) (tabla 2).

Las temperaturas de transición y entalpía de gelatinización registradas para harinas de semillas de aguacate han sido determinadas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC). Rivera et al. (2019) evaluaron y compararon propiedades térmicas de la harina y el almidón nativo de semillas de aguacate, las cuales oscilaron de $67,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $76,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de $65,26\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $74,89\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente, evidenciando que los valores más altos encontrados en la harina son atribuidos al alto contenido de fibras y proteínas presentes, lo que le brinda una mayor estabilidad térmica durante el procesamiento.

Las propiedades de formación de pastas en harinas de semillas de aguacate han sido determinadas mediante el análisis de viscosidad rápida (RVA) (Rivera et al., 2019). La harina de semillas de aguacate presenta baja viscosidad, presumiblemente por su alto contenido en fibra y otros componentes que limitan la penetración del agua al interior de los gránulos de almidón y, por ende, evitan que estos se hinchen (Oladebeye et al., 2009). Esta propiedad se correlaciona positivamente con algunas de sus propiedades funcionales como índice de absorción de agua (IAA) con valores de $0,027\text{ g/g}$ a $2,43\text{ g/g}$, estos valores inferiores se han atribuido a su baja capacidad de interacción en agua (Egbonu et al., 2018).

Obtención de almidones a partir de semillas de aguacate

El almidón es un carbohidrato sintetizado y almacenado como fuente de energía en las plantas. Su contenido varía según la fuente y la parte botánica e inclusive entre variedades/cultivares de la misma especie (Wurzburg, 1964). El almidón es un polisacárido, constituido principalmente por una mezcla de los polímeros amilosa y amilopectina, y en menor cantidad por lípidos, proteínas y minerales como el fósforo (BeMiller & Whistler, 2019). La amilosa representa el 20-30 % del almidón y está formado por glucosas anhidro, unidas por enlaces glucosídicos α (1-4), con un peso molecular de 10^5 a 10^6 g/mol (Tester et al., 2004). La amilopectina ($\approx 70\text{-}80\%$) se encuentra constituida por residuos de glucosa con enlaces α (1-4) y presenta puntos de ramificación con enlaces glucosídicos α (1-6), con un peso molecular de 10^7 a 10^8 g/mol (Tester et al., 2004).

Las principales fuentes de almidón comercial a nivel mundial son el maíz (*Zea mays* L.), la papa (*Solanum tuberosum* L.) y la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). La composición y la estructura de los gránulos de almidón varían con la fuente botánica, influenciando sus propiedades funcionales (Shannon et al., 2009), sin embargo, existen otras fuentes botánicas alternativas de almidón que pudieran tener un uso potencial en la industria alimentaria y no alimentaria. En esta revisión, se resume el conocimiento actual respecto a la composición, la estructura y las propiedades fisicoquímicas de los almidones de semillas de aguacate de diversos cultivares.

Aislamiento de almidón a partir de semilla de aguacate

El almidón ha sido aislado a partir de diferentes fuentes botánicas usando diferentes métodos, dependiendo del uso final, sin embargo, la mayoría de estos métodos afectan las propiedades del almidón, por lo anterior, se sugiere el uso del método con la menor afectación tanto en las propiedades como en el rendimiento (Qi et al., 2018). Diversos autores coinciden en que el proceso de molienda húmeda de semillas de aguacate es el adecuado para el aislamiento de almidón con un alto nivel de pureza (Cornelia & Christianti, 2018; Rivera et al., 2019). Los rendimientos de almidón a partir de semillas de aguacate oscilan entre el 16 % y el 28 % (tabla 3), mediante molienda húmeda y empleando agua como solvente (Delinski et al., 2017; Lubis et al., 2016), mientras que, con el uso de soluciones salinas, fluctúan entre el 8 % y el 42 % (Chel et al., 2016; Cornelia & Christianti, 2018; Rivera et al., 2019). En la molienda húmeda, usualmente se han empleado soluciones salinas, a base de metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), bisulfito de sodio (NaHSO_3) y cloruro de sodio (NaCl), debido a la inhibición del pardeamiento enzimático inducido por la enzima polifenol oxidasa (Lee, 2007).

Diversos autores destacan la coloración de marrón claro a rosáceo del almidón de semillas de aguacate (Hass, Daysi y Mantequilla) (Delinski et al., 2017; Builders et al., 2010; Chel et al., 2016), sin embargo, recientemente, Rivera et al. (2019) documentaron tonalidades de marrones a rojizas en almidones de semilla de aguacate Hass, extraídos empleando una solución de NaHSO_3 .

Composición proximal de almidones de semillas de aguacate

El contenido de proteínas, lípidos y cenizas de los almidones de semillas de aguacate varía entre especies, inclusive entre la misma especie, atribuido a la geografía y a las condiciones agroclimáticas del cultivo (Bashir & Aggarwal, 2019). La determinación de las fracciones de estas en los almidones es de suma importancia, debido a que tienen un impacto en sus propiedades funcionales, los lípidos forman complejos con la amilosa y pueden modificar algunas propiedades, como aumentar las temperaturas de gelatinización y reducir la solubilidad, además de influenciar la resistencia a la formación de geles, la retrogradación y el poder de hinchamiento (Singh et al., 2007).

La composición proximal de almidones de semillas de aguacate se ha registrado principalmente en cultivar Hass, debido a su alta comercialización, y presenta diferencias tanto en la composición proximal como en el contenido de amilosa aparente en el mismo cultivar (Builders et al., 2010; Chel et al., 2016; Rivera et al., 2019). Adicionalmente, se han realizado estudios descriptivos de

almidones extraídos de semillas de otros cultivares de aguacate como Mantequilla (Alves et al., 2017), Daysi (Dos Santos et al., 2016) y Zutano (Kahn, 1987).

En la tabla 3 se muestra la composición proximal de almidones obtenidos a partir de semillas de aguacate Hass, donde se evidencia que los contenidos de proteínas, lípidos y cenizas fueron inferiores al 2 %. Dos Santos et al. (2016) reportaron contenidos de proteínas (0,04 %), lípidos (0,19 %) y cenizas (0,38 %) para almidón de semillas de aguacate Daysi. El bajo contenido de estos componentes en los almidones es un buen indicativo de su alta pureza y puede obtenerse mediante molienda húmeda (Ratnayake et al., 2002).

Contrariamente, el contenido de amilosa es una característica determinante para algunas propiedades fisicoquímicas, térmicas y funcionales de los almidones, especialmente porque juegan un papel fundamental en la gelatinización de los gránulos en la formación de pastas (Fredriksson et al., 1998). El contenido de amilosa aparente en almidón de semillas de aguacate es dependiente de los factores genéticos de cada cultivar (Agama et al., 2013): en el aguacate cv. Hass oscila entre el 15 % y el 42 % (Builders et al., 2010; Chel et al., 2016; Cornelia & Christianti, 2018), mientras que para el cultivar Daysi es del 21,5 % (tabla 3) (Dos Santos et al., 2016). Así, las variaciones en el cv. Hass sugieren una alta diversidad polimórfica (Cuiris et al., 2009).

Características morfológicas y tamaño de partículas

Los gránulos de almidón de los diferentes cultivares de aguacate pueden presentar formas triangulares, esféricas y ovals con superficies suaves (Alves et al., 2017; Delinski et al., 2017; Builders et al., 2010; Cornelia & Christianti, 2018; Kahn, 1987). Los gránulos de almidón obtenidos de semillas de aguacate son pequeños ($< 37 \mu\text{m}$), el tamaño de partícula de los almidones cultivar Hass presentan una distribución bimodal y su tamaño oscila de $5 \mu\text{m}$ a $30 \mu\text{m}$ (Builders et al., 2010; Lacerda et al., 2015), mientras que los gránulos de almidón del cv. Mantequilla presentan tamaños de $21,9 \mu\text{m}$ a $37 \mu\text{m}$ (Alves et al., 2017; Delinski et al., 2017). Por otro lado, Kahn (1987) observó gránulos de almidón de semillas de aguacate de cv. Zutano con tamaños de $5 \mu\text{m}$ a $35 \mu\text{m}$, los mismos que exhibían superficies lisas, libres de poros y sin fisuras.

Propiedades funcionales

La funcionalidad de los almidones depende de las proporciones de sus componentes, el poder de hinchamiento (PH) y el índice de solubilidad (ISA) que evidencian la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de los dominios amorfo (amilosa) y cristalino (amilopectina). La extensión de esta interacción está influenciada por la relación amilosa:amilopectina y por las características de ambas, especialmente por la distribución de peso molecular, el grado de ramificación, la longitud de las ramas y la conformación de las moléculas (Ratnayake et al., 2002). Esta funcionalidad puede verse limitada por la presencia de lípidos en el almidón que, al formar complejos con la amilosa, evitan el hinchamiento y la solubilidad de los gránulos (Zhang et al., 2005).

Tabla 3. Composición proximal de almidones de semillas de aguacate de diversos cultivares

N.º de repeticiones	Fuente: <i>Persea americana</i>	Humedad (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Ceniza (%)	*Rend. (%)	Amilosa aparente (%)	Color	Forma y tamaño	Referencia
n = 3	cv. Hass	7,81	NR	0,07	0,42	20,50	32,50	Marrón claro	Triangular (30 µm) y circular (7,5 µm)	Builders et al. (2010)
n = 3	cv. Hass	NR	NR	NR	NR	20,13	15,78	Marrón claro	NR	Chel et al. (2016)
NR	cv. Hass	16,60	2,16	1,09	0,23	24,2	26,45	NR	Circular-oval (20 µm)	Ginting et al. (2018)
n = 3	cv. Hass	9,20	NR	NR	1,64	23,15	NR	Blanco-parduzco	NR	Maryam et al. (2016)
n = 3	cv. Hass	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	15,85 µm	Lacerda et al. (2015)
n = 3	cv. Hass	6,36	1,33	1,16	1,18	27,28	29,44	Marrón rojizo	Oval (5-30 µm)	Rivera et al. (2019)
NR	cv. Hass	NR	NR	NR	NR	16,00	NR	Marrón	NR	Lubis et al. (2016)
n = 3	cv. Hass	11,33	NR	NR	0,07	8,05	42,37	NR	Circular y oval (8,8-22,9 µm)	Cornelia & Christianti (2018)
NR	cv. Hass	1,08	10,44	1,86	1,01	24,2	32,47	Café	NR	Ginting et al. (2015)
n = 3	cv. Mantequilla a	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Oval (26 a 37 µm)	Alves et al. (2017)
n = 3	cv. Mantequilla a	NR	NR	NR	NR	28,70	NR	Pardo-amarillento	Circular y oval (21,9 µm)	Delinski et al. (2017)
NR	cv. Daysi	NR	0,14	0,09	0,38	42,2	21,5	Rosáceo	Oval (9,37-27,7 µm)	Dos Santos et al. (2016)
NR	cv. Zutano	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	Oval (5 a 35 µm)	Kahn (1987)

Notas aclaratorias: *Rend.: rendimiento y NR = no reportado.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de las fuentes consultadas y mencionadas en la tabla



El PH y el ISA en los almidones de semillas de aguacate de los cultivares Hass, Daysi y Mantequilla son variables: a 90 °C, el PH y el ISA han reportado rangos de 11 g/g a 28 g/g y de 0,55 % a 20 % (Alves et al., 2017; Chel et al., 2016), además de presentar incrementos rápidos en PH e ISA a temperaturas de 70 °C a 90 °C. De acuerdo con Chel et al. (2016), los gránulos de almidón del cv. Hass se hinchan después de los 70 °C, efecto que se atribuye a la ruptura de los puentes intermoleculares en zonas amorfas, lo que permite la absorción progresiva e irreversible del agua, además de desencadenar una pérdida de birrefringencia y un aumento de la viscosidad en las dispersiones de almidón.

En un estudio más reciente, Rivera et al. (2019) reportaron valores de 1,87 % y 3,33 g/g para solubilidad e IAA en almidones de semillas de aguacate Hass, estos valores confirman las características hidrofóbicas del almidón, lo que sugiere una interacción baja en agua, presumiblemente debido a la presencia de gránulos de almidón densamente empaquetados que, a menudo, presentan fuertes interacciones entre la amilosa-amilopectina.

Propiedades estructurales

Difracción de rayos X (DRX)

La difracción de rayos X se ha utilizado para evidenciar la presencia y las características cristalinas de los gránulos de almidón (Ratnayake et al., 2002). La mayoría de los almidones de semillas de aguacates exhiben un patrón de difracción del tipo B, es decir, muestra cadenas de amilopectina de 30-44 unidades de glucosa, característico de almidones de tubérculos, ricos en amilosa (Chel et al., 2016; Lacerda et al., 2015). Alves et al. (2017) y Lacerda et al. (2014) reportaron un patrón tipo A que contiene cadenas de amilopectina de 23-29 unidades de glucosa (patrón característico de almidones de cereales), mientras que Delinski et al. (2017) sugirieron un patrón tipo C, es decir, una mezcla de los tipos A y B, con cadenas de amilopectina de 26-29 moléculas de glucosa (este patrón se ha encontrado en leguminosas) en almidones de semillas de aguacate cv. Mantequilla. Basado en lo anterior, el tipo de difracción para los almidones de semillas de aguacate no está claro, por lo tanto, el almidón de semillas de aguacate puede tener una cristalinidad tipo A, B o una mezcla de ambos, pudiendo depender del cultivar, las condiciones de crecimiento (entorno) o el método de obtención/aislamiento (Zhang et al., 2005).

El porcentaje de cristalinidad ha sido abordado escasamente en almidones de semillas de aguacate, especialmente en los cultivares Hass, Daysi y Mantequilla (Delinski et al., 2017; Dos Santos et al., 2016; Lacerda et al., 2015), donde sus estudios han reportado un rango del 13 % al 25 %, siendo el almidón más cristalino el obtenido del cultivar Daysi, con un patrón de difracción tipo B. Por otra parte, se infiere que las altas temperaturas de transición de gelatinización, la alta resistencia a la hidrólisis y el bajo poder de hinchamiento de los gránulos de almidón son debido a la estructura del gránulo causada por la cristalinidad (Ratnayake et al., 2002).



Propiedades reológicas

Los estudios relacionados con las propiedades reológicas de almidones de semilla de aguacate son limitados, en comparación a los almidones de fuentes convencionales como los cereales o los tubérculos. La viscosidad reportada para almidones de semillas de aguacate cv. Hass a una concentración de 6 % y 10 % p/v fue de 798 a 819 cP, alcanzando una máxima temperatura de viscosidad a los 95 °C (Chel et al., 2016; Lacerda et al., 2014). En ambas investigaciones se sugiere que la viscosidad aumenta con el incremento de la temperatura y la humedad, debido al hinchamiento de los gránulos de almidón, sin embargo, Cornelia y Christiani (2018) reportaron una viscosidad máxima de 3330 cP para almidones de semillas de aguacate Hass, mientras que Dos Santos et al. (2016) documentaron una viscosidad máxima de 4421 cP en almidón de semillas de aguacate Daysi al 7 % de concentración.

Por su parte, Chel et al. (2016) demostraron que la región viscoelástica lineal del almidón de semillas de aguacate cv. Hass a una concentración de 10 % se encuentra dentro del rango del 0,1 %, ligeramente por encima del 1 %, de acuerdo con los valores del módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G''), evidenciando que este almidón presenta un comportamiento más elástico que viscoso ($G' > G''$), confiriéndole un gran potencial para ser usado como aditivo en los alimentos tipo gel y proporcionándole una textura blanda, incluso a bajas temperaturas. Los valores de la tangente de pérdida de los geles ($\tan \delta$) fueron de 0,10 a 0,18, los cuales son característicos de geles débiles.

Propiedades térmicas

Para la determinación de las temperaturas de transición como la temperatura inicial de gelatinización (T_0), temperatura pico (T_p), temperatura final de gelatinización (T_f) y entalpía de gelatinización (ΔH_g) de los almidones de semillas de aguacate, generalmente se usa la calorimetría diferencial de barrido (DSC) (Alves et al., 2017; Chel et al., 2016; Rivera et al., 2019).

Dos Santos et al. (2016) evaluaron las propiedades térmicas del almidón de semilla de aguacate cv. Daysi, registrando una temperatura inicial de transición de fase de 67,8 °C, encontrándose dentro del rango reportado para almidones de aguacate de cultivares Hass, Mantequilla y Zutano ($T_0 = 56-73$ °C). La T_p es donde se registran los valores más altos de absorción de calor, donde el almidón pasa a un estado gomoso (gelatinización), debido a la ruptura de los gránulos (Ai & Jane, 2015). Las T_p reportadas para almidones de semillas de aguacate fluctúan de 65 °C a 78 °C (Delinski et al., 2017; Chel et al., 2016) y estas diferencias se han atribuido a la presencia de componentes como proteínas y lípidos en los almidones, los cuales evitan la entrada de agua al interior de los gránulos.

Los valores de entalpía de gelatinización (ΔH_g), es decir, la energía requerida para romper el ordenamiento cristalino de los gránulos de almidón en semillas de aguacate de los cultivares Hass, Daysi y Mantequilla, varían de 4,44 J/g a 14,9 J/g (Delinski et al., 2017; Chel et al., 2016; Rivera et al., 2019).

Tendencias futuras y oportunidades de investigación

Es un hecho anticipado que en un futuro se generen mayores cantidades de semillas de aguacate como subproductos agroindustriales debido a la alta demanda de alimentos, por lo que estos

residuos deben de ser manejados adecuadamente después de su producción a través de tecnologías verdes, las cuales permitan la recuperación eficiente de compuestos bioactivos de interés. Actualmente se han realizado un sin número estudios de exploración de dichos componentes, en los cuales se detallan las principales cualidades estructurales y nutricionales que poseen, sin embargo, en un futuro es necesario realizar una investigación más a fondo en torno a su aplicación en las industrias alimentaria, cosmética, nutracéutica, cosmeceútica, química y textil, en lugar de constituir un desperdicio o una molestia para el medioambiente. Otro punto no menos importante por abordar serían los estudios sobre nuevas tecnologías de extracción que les permitan conservar sus funcionalidades, así como el estudio de todos los compuestos a nivel *in vivo*. Por lo anterior, estos serían temas de alto impacto en varios campos que contribuirán a la resolución de diversos problemas nutricionales, médicos, cosméticos, alimentarios y ambientales, con el objetivo de desarrollar productos funcionales con valor agregado que utilicen fuentes de desecho agroindustrial.

Conclusiones

Las semillas de aguacate representan un alto porcentaje del peso total de la fruta y se consideran un desecho. En la presente revisión se ha documentado sobre distintas investigaciones que evidencian el interés por la revalorización de las semillas de aguacate, debido a que se les considera una buena fuente de diferentes componentes como vitaminas, minerales, aminoácidos, una gran variedad de compuestos fitoquímicos, ácidos grasos saludables, pigmentos naturales como carotenoides y perseoranginas, fibras, carbohidratos principalmente de almidón, entre otros nutrientes que la componen. Los datos científicos permiten evaluar la semilla y sus principales componentes sobre la base de datos, criterios cuantitativos y objetivos que en conjunto hacen posible comprender e identificar mejor los beneficios, las limitaciones de la semilla y las aplicaciones potenciales de sus componentes.

La investigación a todos los niveles sobre las semillas de aguacate y sus componentes continuará en el futuro, pero uno de los aspectos que merece especial atención es en el área de la salud humana, para aclarar el papel de los diferentes componentes y establecer definitivamente sus efectos beneficiosos y reales basados en evidencia científica.

Agradecimientos

Ndahita de Dios Avila agradece el apoyo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para cursar el doctorado en Ciencias Agrícolas, dentro del Posgrado en Ciencias Biológico-Agropecuarias (CBAP) de la Universidad Autónoma de Nayarit. Adicionalmente, agradece infinitamente al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Cuauhtémoc (CIAD) por su financiamiento y apoyo durante la presente investigación.

Contribución de los autores

Ndahita de Dios Avila: redacción y preparación del borrador original; Juan Manuel Tirado Gallegos: conceptualización y visualización de la información; Claudio Rios Velasco: análisis de información; Gregorio Luna Esquivel: redacción, investigación y construcción de bases de datos; Mario Orlando Estrada Virgen y Octavio Jhonathan Cambero Campos: revisión y edición de manuscrito.

Implicaciones éticas

Se obtuvo el consentimiento de los colaboradores para usar la información suministrada en la documentación del proceso presentado en el artículo.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Financiación

El estudio fue financiado por el Fondo Institucional de Promoción Regional para el Desarrollo Científico y la Innovación (FORDECYT-PRONACES)—Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-México) (Proyecto No. 292399).

Referencias

- Adaramola, B., Onigbinde, A., & Shokunbi, O. (2016). Physicochemical properties and antioxidant potential of *Persea americana* seed oil. *Chemistry International*, 2(3), 168-175. https://www.researchgate.net/publication/287360990_Physicochemical_properties_and_antioxidant_potential_of_Persea_Americana_seed_oil
- Addo, P., Agbenorhevi, J., & Adu-Poku, D. (2018). Antinutrient contents of watermelon seeds. *MOJ Food processing and Technology*, 6(2), 237-239. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2018.06.00170>
- Adegoke, G. O., Akinbile, J. T., Olapade, A. A., & Ashaye, O. A. (2010). The effect of processing methods on the nutritional profile of avocado (*Persea americana* Mill) seeds. In *Archievingsustainable development in Africa* (pp. 186-194). World Association for Sustainable Development (WASD). http://ir.library.ui.edu.ng/bitstream/123456789/1731/1/%281%29ui_inbk_adeboke_effect_2010.pdf

- Agama-Acevedo, E., Juárez-García, E., Evangelista-Lozano, S., Rosales-Reynoso, O. L., & Bello-Pérez, L. A. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, 47(1), 01-12. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000100001
- Ai, Y., & Jane, J. L. (2015). Gelatinization and rheological properties of starch. *Starch-Stärke*, 67(3-4), 213-224. <https://doi.org/10.1002/star.201400201>
- Akubugwo, I. E., Chinyere, G. C., & Ugbogu, A. E. (2008). Comparative studies on oils from some common plant seeds in Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 7(4), 570-573. <https://doi.org/10.3923/pjn.2008.570.573>
- Alves, I., Magnani, M., Medeiros, F., Sabino, K., de Souza, J., & Queiroga-Neto, V. (2017). Characterization of chemical and structural properties of native and acetylated starches from avocado (*Persea americana* Mill.) seeds. *International Journal of Food Properties*, 20(1), S279-S289. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295259>
- Arlene, A. A., Prima, K. A., Utama, L., & Anggraini, S. A. (2015). The preliminary study of the dye extraction from the avocado seed using ultrasonic assisted extraction. *Procedia Chemistry*, 16, 334-340. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.061>
- Asim, N., Emdadi, Z., Mohammad, M., Yarmo, M. A., & Sopian, K. (2015). Agricultural solid wastes for green desiccant applications: an overview of research achievements, opportunities and perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 91, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.015>
- Barrera, R., & Arrubla, J. P. (2017). Análisis de fitoesteroles en la semilla de *Persea americana* (var. Lorena) por cromatografía de gases y cromatografía líquida de alta eficiencia. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(1), 35-41. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2013>
- Bashir, K., & Aggarwal, M. (2019). Physicochemical, structural and functional properties of native and irradiated starch: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 513-523. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3530-2>.
- Belete, T., Hailu, Z., & Gebrie, E. (2019). A review on avocado seed: Functionality, composition, antioxidant and antimicrobial properties. *Chemical Science International Journal*, 27(2), 1-10. <https://doi.org/10.9734/CSJI/2019/v27i230112>
- BeMiller, J. N., & Whistler, R. L. (2019). Carbohidratos. In S. a. P. K. L. Damodaran (Ed.), *Bioquímica de los alimentos de Fennema, Quinta edición* (pp. 189-265). Florida, United State. Chemical Rubber Company (CRC Press).
- Builders, P. F., Nnurum, A., Mbah, C. C., Attama, A. A., & Manek, R. (2010). The physicochemical and binder properties of starch from *Persea americana* Miller (Lauraceae). *Starch-Stärke*, 62(6), 309-320. <https://doi.org/10.1002/star.200900222>
- Bustos, M. C., Mazzobre, M. F., & Buera, M. P. (2015). Stabilization of refrigerated avocado pulp: Effect of *Allium* and *Brassica* extracts on enzymatic browning. *LWT - Food Science and Technology*, 61(1), 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.026>
- Chel-Guerrero, L., Barbosa-Martín, E., Martínez-Antonio, A., González-Mondragón, E., & Betancur-Ancona, D. (2016). Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 86, 302-308. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.052>
- Cornelia, M., & Christianti, A. (2018). Utilization of modified starch from avocado (*Persea americana* Mill.) seed in cream soup production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 102, 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/102/1/012074>

- Cuiris-Pérez, H., Guillén-Andrade, H., Pedraza-Santos, M. E., López-Medina, J., & Vidales-Fernández, I. (2009). Genetic variability within mexican race avocado (*Persea americana* Mill.) germplasm collections determined by ISSRs. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(2), 169-175. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.15.023>
- Dabas, D., Elias, R. J., Lambert, J. D., & Ziegler, G. R. (2011). A colored avocado seed extract as a potential natural colorant. *Journal of Food Science*, 76(9), C1335-C1341. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02415.x>
- Dabas, D., Elias, R. J., Ziegler, G. R., & Lambert, J. D. (2019). In vitro antioxidant and cancer inhibitory activity of a colored avocado seed extract. *International Journal of Food Science*, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2019/6509421>.
- Dabas, D., Shegog, R., Ziegler, G., & Lambert, J. (2013). Avocado (*Persea americana*) seed as a source of bioactive phytochemicals. *Current Pharmaceutical Design*, 19(34), 6133-6140. <https://doi.org/10.2174/1381612811319340007>
- Delinski, C., Henrique, L., Soltovski, C., Lacerda, L. G., & Schnitzler, E. (2017). Morphological and thermoanalytical study of modified avocado seeds starch with lactic acid. *Chemistry Journal of Moldova*, 12(2), 13-18. <https://doi.org/10.19261/cjm.2017.438>
- Dos Santos, D. M., Ramírez Ascheri, D. P., de Lacerda, A., Cintra Morais, C., Piler, C. W., & Ramírez Ascheri, J. L. (2016). Physicochemical properties of starch from avocado seed (*Persea americana* Mill). *Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 34(2), 1-12. <https://doi.org/10.5380/cep.v34i2.51302>
- Egbuonu, A. C., Opara, I. C., Onyeabo, C., & Uchenna, N. O. (2018). Proximate, functional, antinutrient and antimicrobial properties of avocado pear (*Persea americana*) Seeds. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8(1), 78-82. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00260>
- Ejiofor, N., Ezeagu, I., Ayoola, M., & Umera, E. (2018). Determination of the chemical composition of avocado (*Persea americana*) seed. *Advances in Food Technology and Nutritional Sciences*, SE(2), S51-S55. <https://doi.org/10.17140/AFTNSOJ-SE-2-107>
- Emelike, N. J., Ujong, A. E., & Achinewhu, S. C. (2020). Proximate composition, mineral bioavailability and functional properties of defatted and undefatted avocado pear (*Persea americana*) seed flours. *Asian Food Science Journal*, 17(3), 1-10. <https://doi.org/10.9734/AFSJ/2020/v17i330191>
- Faostat. (2019). *Cultivos y productos de ganadería*. FAO. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Ferrari, R. (2015). Nota Científica: Caracterização físico-química do óleo de abacate extraído por centrifugação e dos subprodutos do processamento. *Brazilian Journal of Food Technology*, 18, 79-84. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.4014>
- Fredriksson, H., Silverio, J., Andersson, R., Eliasson, A. C., & Åman, P. (1998). The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate Polymers*, 35(3-4), 119-134. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(97\)00247-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(97)00247-6).
- Ginting, M. H., Hasibuan, R., Lubis, M., Alanjani, F., Winoto, F. A., & Siregar, R. C. (2018). Supply of avocado starch (*Persea americana* mill) as bioplastic material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309, 012098. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/309/1/012098>
- Ginting, M. H., Ramadhan Tarigan, M. F., & Singgih, A. M. (2015). Effect of gelatinization temperature and chitosan on mechanical properties of bioplastics from avocado seed starch (*Persea americana* Mill) with plasticizer glycerol. *The International Journal of Engineering*

- and Science*, 4(12), 2319-1805. <https://theijes.com/papers/v4-i12/Version-2/F041202036043.pdf>
- Hatzakis, E., Mazzola, E. P., Shegog, R. M., Ziegler, G. R., & Lambert, J. D. (2019). Perseoragin: A natural pigment from avocado (*Persea americana*) seed. *Food Chemistry*, 293, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.064>
- Hennessey-Ramos, L., Murillo, A. W., & Guayabo, G. T. (2019). Evaluation of a colorant and oil extracted from avocado waste as functional components of a liquid soap formulation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(2), 8855-8862. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n2.74573>
- Ifesan, B. O., Olorunsola, B. O., & Ifesan, B. T. (2015). Nutritional composition and acceptability of candy from avocado seed (*Persea americana*). *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 3(6), 1631-4. https://ijair.org/administrator/components/com_jresearch/files/publications/IJAIR_1319_Final.pdf
- Kahn, V. (1987). Characterization of Starch Isolated from Avocado Seeds. *Journal of Food Science*, 52(6), 1646-1648. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb05896.x>
- Lacerda, L. G., Denck Colman, T. A., Bauab, T., da Silva, M., Mottin Demiate, I., de Vasconcelos, E., & Schnitzler, E. (2014). *Thermal, structural and rheological properties of starch from avocado seeds* (*Persea americana*, Miller) modified with standard sodium hypochlorite solutions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115, 1893-1899. <https://doi.org/10.1007/s10973-013-3349-z>
- Lacerda, L. G., da Silva, M., Bauab, T., Mottin Demiate, I., Denck Colman, T. A., Pereira Andrade, M. M., & Schnitzler, E. (2015). The effects of heat-moisture treatment on avocado starch granules. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 120(1), 387-393. <https://doi.org/10.1007/s10973-014-3987-9>
- Lee, M. K. (2007). Inhibitory effect of banana polyphenol oxidase during ripening of banana by onion extract and Maillard reaction products. *Food Chemistry*, 102(1), 146-149. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.012>
- Lubis, M., Harahap, M. B., Ginting, M., Sartika, M., & Azmi, H. (2016). Effect of microcrystalline cellulose (MCC) from sugar palm fibres and glycerol addition on mechanical properties of bioplastic from avocado seed starch (*Persea americana* Mill). *Proceedings of Engineering & Technology, Computer, Basics & Applied Sciences*, 331(1), 1-10. [https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-Microcrystalline-Cellulose-\(-MCC\)-from-\(-Lubis-Harahap/144a63c219e820f7e3b2f67ceb95ab3dc3864a24](https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-Microcrystalline-Cellulose-(-MCC)-from-(-Lubis-Harahap/144a63c219e820f7e3b2f67ceb95ab3dc3864a24)
- Mahawan, M. A., Tenorio, M. F., Gomez, J. A., & Bronce, R. A. (2015). Characterization of flour from avocado seed kernel. *Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research*, 3(4), 34-40. <http://www.apjmr.com/wp-content/uploads/2015/11/APJMR-2015-3.4.5.05.pdf>
- Martínez, E. (2016). El calcio, esencial para la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 33(4), 26-31. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.341>
- Maryam, M., Kasim, A., & Santosa, S. (2016). Utilization Starch of Avocado Seed (*Persea Americana* Mill.) as a Raw Material for Dextrin. *Journal of Food Science and Engineering*, 6, 32-37. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.01.005>
- Mejías-Brizuela, N., Orozco-Guillen, E., & Galáan-Hernández, N. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(6), 27-41. <https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias Ambientales y Recursos N>

- [aturales/vol2num6/Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales V2 N6 4.pdf](#)
- Okolie, P. L., Oguntokun, M. O., Ogboru, R. O., Idugboe, O. D., & Nwaokobia, K. (2018). Evaluation of the chemical composition of *Persea americana* (Mill) pulp and seed. *Journal of Bioscience and Biotechnology discovery*, 3(4), 83-89. <https://doi.org/10.31248/JBBD2018.071>
- Oladebeye, A., Oshodi, A., & Oladebeye, A. (2009). Physicochemical properties of starches of sweet potato (*Ipomea batata*) and red cocoyam (*Colocasia esculenta*) cormels. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(4), 313-315. <https://doi.org/10.3923/pjn.2009.313.315>
- Oreopoulou, V., & Tzia, C. (2007). Utilization of plant by-products for the recovery of proteins, dietary fibers, antioxidants, and colorants. En: *Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry* (pp. 209-232). Nueva York, Estados Unidos: Springer. https://www.researchgate.net/publication/227178417_Utilization_of_Plant_By-Products_for_the_Recovery_of_Proteins_Dietary_Fibers_Antioxidants_and_Colorants
- Páramos, P. R., Granjo, J. F., Corazza, M. L., & Matos, H. A. (2020). Extraction of high value products from avocado waste biomass. *The Journal of Supercritical Fluids*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104988>
- Qi, Y., Du, F., Jiang, Z., Qiu, B., Guan, Q., Liu, J., & Xu, T. (2018). Optimization of starch isolation from red sorghum using response surface methodology. *Food Science and Technology*, 91, 242-248. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.014>
- Ratnayake, W. S., Hoover, R., & Warkentin, T. (2002). Pea starch: composition, structure and properties—a review. *Starch-Stärke*, 54(6), 217-234. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200206\)54:6<217::AID-STAR217>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200206)54:6<217::AID-STAR217>3.0.CO;2-R)
- Raymond, C. T., & Dykes, G. A. (2010). Antimicrobial activity of crude epicarp and seed extracts from mature avocado fruit (*Persea americana*) of three cultivars. *Pharmaceutical Biology*, 48(7), 753-756. <https://doi.org/10.3109/13880200903273922>
- Rivera-González, G., Amaya-Guerra, C. A., & de la Rosa-Millán, J. (2019). Physicochemical characterisation and *in vitro* Starch digestion of Avocado Seed Flour (*Persea americana* V. Hass) and its starch and fibrous fractions. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(7), 2447-2457. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14160>
- Rodríguez-Sánchez, D., Pacheco, A., García-Cruz, M., Gutiérrez-Urbe, J., Benavides-Lozano, J., & Hernández-Brenes, C. (2013). Isolation and structure elucidation of avocado seed (*Persea americana*) lipid derivatives that inhibit *Clostridium sporogenes* endospore germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(30), 7403-7411. <https://doi.org/10.1021/jf401407s>
- Sagarpa. (2017). *Aguacate Mexicano*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf>
- Shannon, J. C., Garwood, D. L., & Boyer, C. D. (2009). Chapter 3 - Genetics and physiology of starch development. En *Starch*, pp. 23-82. Estados Unidos: Academic Press.
- SIAP. (2019). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Singh, N., Nakaura, Y., Inouchi, N., & Nishinari, K. (2007). Fine structure, thermal and viscoelastic properties of starches separated from *Indica* rice cultivars. *Starch-Stärke*, 59(1), 10-20. <https://doi.org/10.1002/star.200600527>

- Surukite, O., Kafeelah, Y., Olusegun, F., & Damola, O. (2013). Qualitative studies on proximate analysis and characterization of oil from *Persea americana* (Avocado Pear). *Journal of Natural Sciences Research*, 3(2), 68-74. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JNSR/article/view/4367>
- Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 39(2), 151-165. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001>
- Tremocoldi, M. A., Rosalen, P. L., Franchin, M., Massarioli, A. P., Denny, C., Daiuto, É. R., Rizzato, J. A., Siquiera, P., & de Alencar, S. M. (2018). Exploration of avocado by-products as natural sources of bioactive compounds. *PloS One*, 13(2), e0192577. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192577>
- Urrutia, G., & Bonfill, X. (2010) Declaración PRISMA: propuesta para mejorarla publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Méd Clin*, 135(11), 507-11. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Vargas Corredor, Y., & Pérez Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 1(1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Wang, W., Bostic, T. R., & Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*, 122(4), 1193-1198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.114>
- Wurzburg, O. B. (1964) In: Whistler, R.L (Ed). *Methods in Carbohydrate Chemistry*, Vol. IV. Academic Press, New York, pp 286-288
- Yusuf, A. (2018). A review of methods used for seed oil extraction. *International Journal of Scientific Research*, 7(12), 233-238. <https://www.ijsr.net/archive/v7i12/1121804.pdf>
- Zhang, P., Whistler, R. L., BeMiller, J. N., & Hamaker, B. R. (2005). Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility a review. *Carbohydrate Polymers*, 59(4), 443-458. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.10.014>