

Técnicas de extracción empleadas para obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de aguacate como potencial fuente de ingredientes funcionales

Monografía de grado para optar el título de especialización en alimentación y nutrición

Daniela Romero Bolívar

Elizabeth Hernandez Moreno

Asesor

Dubán Ovidio González Álvarez

Ingeniero de Alimentos, MSc

Unilasallista Corporación Universitaria lasallista

Facultad de ingenierías

Especialización en alimentación y nutrición

Caldas-Antioquia

2023

Tabla de Contenido

JUSTIFICACIÓN.....	8
OBJETIVOS.....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos.....	10
MARCO TEÓRICO.....	11
Definición y características del aguacate	11
Historia y evolución del cultivo del aguacate.....	14
Importancia económica del aguacate.....	15
Propiedades nutricionales y saludables del aguacate.....	18
Subproductos del aguacate.....	25
Técnicas de extracción.....	27
Compuestos bioactivos.....	29
Aplicaciones de los compuestos bioactivos obtenidos de los subproductos del aguacate.....	31
METODOLOGÍA.....	35
RESULTADOS.....	37
Técnicas de extracción para la obtención de bioactivos de subproductos del aguacate..	37
Comparación de las técnicas de extracción y tratamiento de los subproductos del aguacate.....	44
CONCLUSIONES.....	48
REFERENCIAS.....	49

Lista de Figuras

Figura 1. Cultivo del aguacate	14
Figura 2. Evolución en la producción del aguacate en Colombia (2015-2020).....	16
Figura 3. Exportación por toneladas 2015-2020.....	17
Figura 4. Beneficios para la salud del consumo de aguacate.....	23

Lista de Tablas

Tabla 1. Variedades de aguacate más comercializadas en Colombia.....	13
Tabla 2. Producción y rendimiento del aguacate entre el 2015 y el 2020 en Colombia.	16
Tabla 3. Composición nutricional de 100 gr de aguacate	21
Tabla 4. Polifenoles en la piel y semilla del aguacate.....	22
Tabla 5. Tipos de ácidos grasos en el aguacate	24
Tabla 6. Composición química de la semilla y la piel del aguacate Hass.....	26
Tabla 7. Composición química de la piel del aguacate Hass en cultivos de Colombia y España	26
Tabla 8. Matriz de revisión	38

Resumen

El consumo de aguacate hass en Colombia y en todo el mundo sigue aumentando y con él se aumenta también la cantidad de residuos que este genera. Solo el 40% del fruto es aprovechado para el consumo como alimento el 60% restante son los residuos: Cascara, hueso y tupo o pedúnculo.

este crecimiento genera también como resultado grandes cantidades de subproductos, dentro de los cuales se destaca la cáscara y la piel, lo cual se asocia principalmente con repercusiones negativas para el medio ambiente cuando no se implementan buenas estrategias de gestión de residuos orgánicos

La revisión desarrollada tiene como objetivo no solo sistematizar información importante frente al aprovechamiento del aguacate como un medio esencial para favorecer el cuidado nutricional, alimenticio y medicinal de la población, sino también para mejorar la comprensión en torno a las diversas técnicas que existen de aprovechamiento. De esta manera, es posible identificar también cuáles son las técnicas de extracción más adecuadas que se ajustan a las cualidades de este tipo de residuo orgánico, para promover así nuevas iniciativas que se ajusten a procesos bien orientados y planificados en el aprovechamiento de residuos orgánicos en Colombia.

al comparar las diferentes técnicas de extracción y tratamiento de los subproductos del aguacate mediante un análisis de los procedimientos, recursos y enfoques utilizados, con el fin de identificar las opciones más funcionales y eficientes.

Introducción

La revalorización de los subproductos del aguacate, a través de la cual se generan procesos de aprovechamiento que permiten incorporarlos en el desarrollo de productos alimenticios o cosméticos que pueden tener un efecto positivo en la salud y el bienestar tanto de seres humanos como de animales, se establece como un eje fundamental en el desarrollo de procesos de tratamiento sostenible del aguacate (Reddy, Moodley y Jonnalagadda, 2018). Lo anterior es sumamente importante, teniendo en cuenta que existen diversos elementos asociados con una elevada cantidad de residuos del fruto, dentro de los cuales se destacan problemáticas en la cadena de suministro, malos procesos de empaque y almacenamiento, golpes durante el transporte y descarga, además de constantes variaciones en la demanda (Monsalve et al. 2019).

Por su parte, autores como Forero, García y Cárdenas (2007) señalan que situaciones concretas relacionadas con las propiedades del aguacate, como su rápida maduración, generan como resultado que en las plantas de procesamiento y centrales de distribución se generen muchos residuos de aguacate que generalmente son dispuestos en rellenos sanitarios, a falta de estrategias efectivas, rápidas y oportunas para iniciar el tratamiento de dichos residuos.

Por ejemplo, de acuerdo con la investigación elaborada por Siatoya y Arce (2019), en la central de Corabastos en la ciudad de Bogotá semanalmente se generan alrededor de 87.097 kg de residuos orgánicos, especialmente en las fases de descarga de los productos. De esta cifra, el 2.21% corresponden a residuos de aguacate, lo cual quiere decir que semanalmente se cuenta, solo en Corabastos, con un total de 1925 kg de aguacate que pueden ser aprovechados si se profundiza el conocimiento frente a los subproductos y a las técnicas de extracción.

Esta situación permite reconocer un conjunto de problemáticas y de oportunidades importantes. Por ejemplo, dentro de las problemáticas se encuentran la elevada generación de subproductos y de residuos en cada una de las fases de cada de suministro y abastecimiento del aguacate (Fitriani, Setiati y Herawati, 2017). En segundo lugar, de destaca una rápida degradación de dichos residuos si no son tratados de manera efectiva con las técnicas apropiadas (Forero, García y Cárdenas, 2007). Finalmente, de acuerdo con Siatoya y Arce (2019), cuando estos residuos no son almacenados y dispuestos de forma efectiva se convierten en una fuente importante de contaminación del suelo, el agua y el aire.

En cuanto a las oportunidades, se destaca la posibilidad de favorecer la disminución de residuos a través de la transformación en productos útiles y de mayor valor añadido, los cuales poseen importantes componentes bioactivos (Fitriani, Setiati y Herawati, 2017). Además, a nivel ambiental también se genera un impacto importante a través del aprovechamiento de los residuos del aguacate, asociados con la reducción de la huella de carbono y gestión efectiva de residuos orgánicos. Finalmente, se destaca la posibilidad de incidir en las capacidades productivas de las comunidades en las cuales se cosecha el aguacate (Reddy, Moodley y Jonnalagadda, 2018).

Es clave, por tanto, profundizar el análisis sobre técnicas de extracción y procesos de aprovechamiento del aguacate en los distintos países en los cuales se produce este fruto, como un medio para generar valor agregado en su cadena de suministro (Forero, García y Cárdenas, 2007). Por ello, en la presente monografía se plantea como objetivo analizar los procesos y técnicas de extracción reportadas en la literatura para la obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de aguacate como potencial fuente de ingredientes funcionales.

Para ello, es preciso revisar las tecnologías de extracción, teniendo en cuenta procesos como ultrasonidos y microondas mediante las cuales se generan los subproductos. De esta manera, los resultados permiten comparar las diferentes técnicas de extracción y tratamiento de los subproductos del aguacate mediante un análisis de los procedimientos, recursos y enfoques utilizados, con el fin de identificar las opciones más funcionales y eficientes.

La revisión desarrollada permite no solo sistematizar información importante frente al aprovechamiento del aguacate como un medio esencial para favorecer el cuidado nutricional, alimenticio y medicinal de la población, sino también para mejorar la comprensión en torno a las diversas técnicas que existen de aprovechamiento. De esta manera, es posible identificar también cuáles son las técnicas de extracción más adecuadas que se ajustan a las cualidades de este tipo de residuo orgánico, para promover así nuevas iniciativas que se ajusten a procesos bien orientados y planificados en el aprovechamiento de residuos orgánicos en Colombia.

Justificación

Debido al desarrollo de diferentes procesos de tratamiento del aguacate, principalmente en Norteamérica, que tienen como finalidad mejorar su sabor, su textura y sus características organolépticas, se ha venido incrementando de manera considerable su consumo en todo el mundo. Además de enfoques centrados en el mejoramiento de la dieta de las personas por medio de una fruta con elevados contenidos de lípidos y ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) que ayudan a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, también se han venido orientando nuevas estrategias de tipo comercial que ayudan a aprovechar el amplio potencial de exportación y comercialización del fruto (Isaza, Jaramillo y Mora, 2021).

En conjunto, un mayor conocimiento sobre las propiedades nutricionales del aguacate, un incremento considerable en el desarrollo de estudios e investigaciones por medio de las cuales se busca mejorar el sabor y la textura del fruto a través de cambios en los procesos de cosecha, recolección, almacenamiento y distribución; y debido también a los cambios en los hábitos de consumo de las personas que buscan alimentos sanos que no solo sean agradables al gusto sino que también les ayuden a tener un mayor bienestar, obliga a tener en cuenta diversos factores asociados con los procesos y técnicas de extracción y tratamiento para la obtención de bioactivos partir de subproductos de aguacate.

Lo anterior implica considerar, por ejemplo, diversos aspectos que se señalan en la literatura como aspectos determinantes para la obtención de los bioactivos, dentro de los cuales se resaltan los estándares de calidad del aguacate, la estacionalidad, los componentes del fruto, las técnicas de extracción y los procesos de tratamiento de la pulpa. En conjunto, todos estos aspectos son clave para obtener bioactivos de calidad que puedan ser comercializados.

Sin embargo, a pesar de que los subproductos del aguacate poseen importantes compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas y antivirales, entre otras (Reddy, Moodley y Jonnalagadda, 2018), la realidad es que en muchas industrias todavía se generan prácticas ineficientes en el tratamiento de estos subproductos, e incluso muchas veces no se aplican las técnicas necesarias para realizar buenos procesos de aprovechamiento.

Por tanto, es importante avanzar en el desarrollo de investigaciones en las cuales se analicen los procesos y técnicas de extracción reportadas en la literatura para la obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de aguacate como potencial fuente de

ingredientes funcionales, estableciendo de esta manera una revisión que permita conocer mejor la composición química de los subproductos. De esta manera, se puede avanzar en estudios que reconozcan nuevas formas de incorporar sus ingredientes en el desarrollo de procesos de elaboración de alimentos y productos que aporten en el cuidado de la salud humana, y que al mismo tiempo se conviertan en proyectos productivos y oportunidades de negocio enfocadas en un proceso de aprovechamiento sostenible de los recursos.

El desarrollo de la presente revisión es clave, teniendo en cuenta la importancia de avanzar en la exploración de alternativas que puedan generar como resultado un buen aprovechamiento de los residuos del aguacate. Este conocimiento puede apoyar el desarrollo y comercialización de subproductos para diversos tipos de industrias, fortaleciendo de esta manera la cadena productiva del aguacate y su valor agregado como un producto importante para la salud nutricional de los colombianos.

Objetivos

Objetivo general

Analizar los procesos y técnicas de extracción reportadas en la literatura para la obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de aguacate como potencial fuente de ingredientes funcionales.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión en la literatura que permita identificar los diversos procesos y técnicas de extracción y tratamiento para la obtención de bioactivos partir de subproductos de aguacate.
- Comparar las diferentes técnicas de extracción y tratamiento de los subproductos del aguacate mediante un análisis de los procedimientos, recursos y enfoques utilizados, con el fin de identificar las opciones más funcionales y eficientes.

Marco Teórico

Definición y características del aguacate

El aguacate, también conocido como palta, es una fruta tropical que hace parte de la familia de las *Lauraceae*. El árbol de palta, conocido como pulto, está presente en la América Tropical, y se reconoce a México como el principal productor a nivel mundial (Field et al. 2016). Principalmente, este fruto se caracteriza por su alto contenido de lípidos. En efecto, como lo señala Moreno et al. (2012), el aguacate es una fruta altamente calórica, debido precisamente a que su principal contenido son los lípidos, representados en ácidos grasos monoinsaturados (AGMI), los cuales son importante para reducir el riesgo de todo tipo de enfermedades cardiovasculares (Field et al. 2016).

El aguacate es una fruta tropical originaria de México, cuyo cultivo se ha extendido a América del Sur (Isaza, Jaramillo y Mora, 2021). De acuerdo con Reddy, Moodley y Jonnalagadda (2018), el aguacate se cultiva principalmente en zonas con precipitaciones que varían entre 600 mm - 2.000 mm al año. Además, su cultivo precisa de suelos bien drenados, profundos y con texturas livianas. En cuanto a los principales países productores, es importante tener en consideración el informe presentado por la FAO (2017), en el cual se señala que el mayor productor del mundo de aguacate fue México, con 2 millones de toneladas. Sigue República Dominicana, con 643 mil toneladas; Perú (487 mil toneladas) y Colombia (403 mil toneladas).

De acuerdo con las apreciaciones de Rincón (2021): “Las zonas productoras de aguacate Hass presentan grandes variaciones en altitud, radiación solar, humedad relativa, temperatura y precipitación, lo que representa diversidad en la calidad de la fruta” (p. 20). Teniendo en cuenta la importante variedad del fruto, es importante desarrollar buenos procesos de planificación en el cultivo, que permitan tener en cuenta aspectos como las fases del ciclo vital de cada una de las especies, así como la respuesta a variaciones estacionales del clima. Además, como lo señala Finagro (2021) es preciso desarrollar buenas estrategias de cosecha, teniendo en cuenta los tiempos, incluyendo también buenas estrategias que incidan favorablemente en la logística y en el desarrollo de una cadena de suministro controlada.

Principalmente, el aguacate que se cultiva en Colombia corresponde a las subespecies antillana, guatemalteca y mexicana (Rincón, 2021). Se estima que en el país existen alrededor de 13.000 productores en cerca de 18.113 unidades productivas (Finagro, 2021). Los

principales departamentos productores de aguacate en el país son Tolima, Caldas, Valle del Cauca y Antioquia; y los mayores volúmenes de producción se obtienen en los meses de abril, septiembre, octubre y noviembre.

En cuanto a los tipos de aguacate, se reconoce que existen más de 400 variedades a nivel mundial, las cuales varían principalmente en aspectos como tamaño, textura, color y sabor (Rincón, 2021). Se destacan variedades como "Pinkerton", cuyo principal país productor es Israel; "Negra de la cruz" (Chile); "Fuerte" (Israel, Sudáfrica, Kenia y España); "Nabal": (Israel); "Ettinger" (Francia); "Wurt" (Israel); "Edranol" (Sudáfrica); "Ryan" (Sudáfrica); "Bacon" (España) "Reed" (México y Guatemala); "Hass" (Colombia). De acuerdo con Rincón (2021) en Colombia las 10 variedades más comercializadas son las siguientes:

- 'Booth 8'
- 'Choquette'
- 'Collinred'
- 'Fuerte'
- 'Gwen'
- 'Hass'
- 'Lorena'
- 'Reed',
- 'Trapica'
- 'Trinidad' .

A continuación, se presentan algunas características relevantes de cada una de estas variedades:

Tabla 1.*Variedades de aguacate más comercializadas en Colombia*

Características	Booth 8	Choquette	Collinred	Fuerte	Gwen	Hass	Lorena	Reed	Trapica	Trinidad
Longitud	10.20	17.00	10.34	12.30	9.16	9.16	14.69	10.60	14.60	10.31
Anchura	7.60	10.00	8.82	9.40	6.91	6.79	9.18	8.70	8.85	8.71
Peso	450.00	910.00	438.15	350.00	310.00	285.00	568.10	430.00	499.63	414.22
Textura corteza (1- 8 UCR)	3.00	2.00	3.50	4.00	4.17	6.25	1.00	4.00	2.00	3.75
Color pulpa	Amarillo verdoso brillante	Amarillo brillante	Amarillo verdoso brillante	Amarillo verdoso brillante	Amarillo verdoso brillante	Verde amarillo moderado	Amarillo brillante	Amarillo brillante	Amarillo brillante	Amarillo verdoso brillante
Grasa (%)	8.91	9.06	12.23	24.00	20.90	17.80	7.19	20.00	6.69	12.01
Fibra (%)	10.19	1.55	10.72	10.28	12.50	7.23	4.61	7.90	5.22	2.19

Nota. Esta tabla muestra propiedades físicas y nutricionales de 10 variedades de aguacate. Elaboración propia con base en información tomada de Rios (2013)

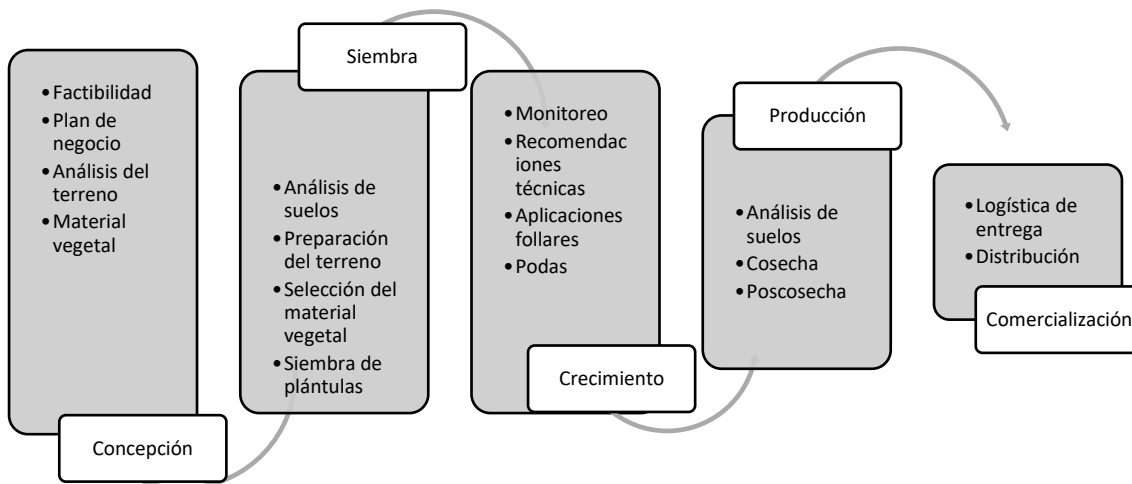
En Colombia, se destaca la producción del aguacate Hass, pues a través de la asociación de los productores con entidades como el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), se ha logrado mejorar la cadena de producción y suministro para su exportación, generando más de 16.00 empleos directos y más 48 mil indirectos. De acuerdo con cifras ofrecidas por El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2022), para el 2021 en Colombia se produjeron 155.310 toneladas de aguacate Hass.

Historia y evolución del cultivo del aguacate

El cultivo del aguacate generalmente responde al desarrollo de cinco procesos clave, los cuales son: concepción, siembra, crecimiento, producción y comercialización. A continuación, en la figura 1, se presentan las actividades clave en cada uno de los procesos:

Figura 1.

Cultivo del aguacate



Nota. El gráfico representa las diversas actividades que se desarrollan en el cultivo del aguacate. Elaboración propia con base en información tomada de Asproagricol (2013)

A lo largo de este proceso, los factores que más inciden en la calidad del aguacate son la temperatura y la precipitación. Por ejemplo, cuando se generan sequías prolongadas se evidencia en los cultivos la caída de las hojas, lo cual reduce el rendimiento (Isaza, Jaramillo y Mora, 2021). Por otro lado, cuando hay muchas lluvias durante los procesos de floración y fructificación, se reduce la producción pues se provoca la caída del fruto (Reddy, Moodley y Jonnalagadda (2018).

En la evolución del cultivo del aguacate también se destacan limitaciones importantes, como un bajo desarrollo tecnológico, y deficiencia en los canales de comercialización y logística, lo cual genera como resultado importantes desperdicios (Álvarez, Reyes y López, 2019), razón por la cual es importante orientar buenas estrategias de logística y optimización continua de la cadena de suministro.

Importancia económica del aguacate

Para el año 2019, de acuerdo con el informe de Finagro (2021), el valor exportado a nivel mundial llegó a la cifra de USD 5.984 millones, provenientes principalmente de México (48%), Países Bajos (13%), Perú (10%) y Chile (8%). En lo que tiene que ver con importaciones, el valor fue de USD 6.273 dirigido a EE. UU. (43%), seguido por Países Bajos (11%), Francia (7%) y Reino Unido (4%). En Colombia, el cultivo del aguacate se ha venido incrementando debido a factores como un mayor consumo en el mercado local y mayor demanda en el mercado internacional.

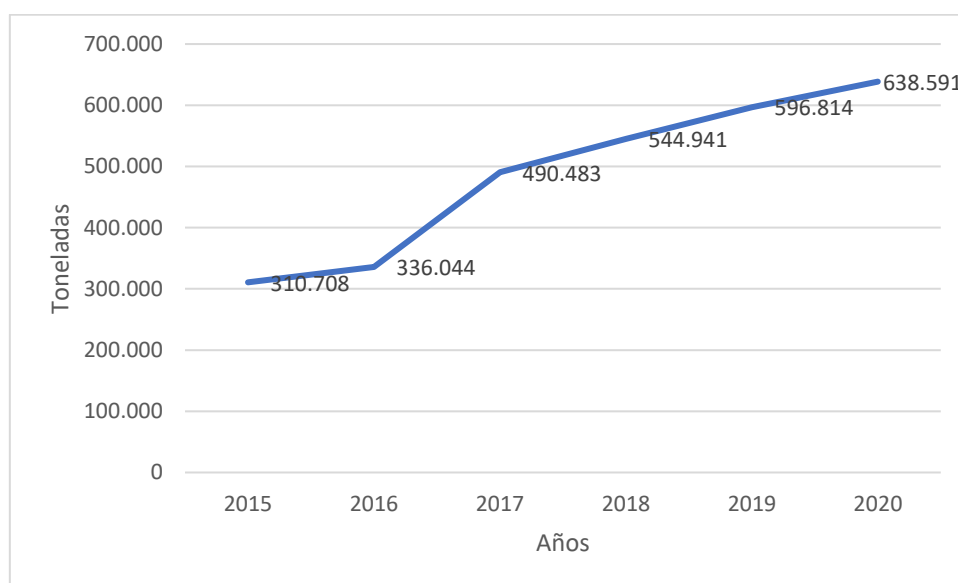
En efecto, desde el 2015 la balanza comercial del producto ha venido presentando un crecimiento sostenido en Colombia. En el año 2019 las exportaciones alcanzaron a llegar a 32 millones de toneladas, con destino a los Países Bajos, España y Reino Unido. A continuación, en la tabla 2, se muestra la evolución de las cifras de aspectos como área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del aguacate entre el 2015 y el 2020:

Tabla 2.*Producción y rendimiento del aguacate entre el 2015 y el 2020 en Colombia*

Variable	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Área sembrada (Ha)	57.826	64.100	69.837	76.897	84.587	93.045
Área cosechada (Ha)	38.359	40.981	52.013	55.777	59.681	63.859
Producción (Ton)	310.708	336.044	490.483	544.941	596.814	638.591
Rendimiento (ton/ha)	8	8	9	10	10	10

Nota. Esta tabla muestra las variaciones entre la producción y el rendimiento de los cultivos de aguacate entre el 2015 y el 2020 en Colombia. Elaboración propia a partir de información tomada del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021)

Se evidencia, por tanto, un crecimiento importante en la producción del aguacate a nivel nacional, como se puede evidenciar mejor en la siguiente figura:

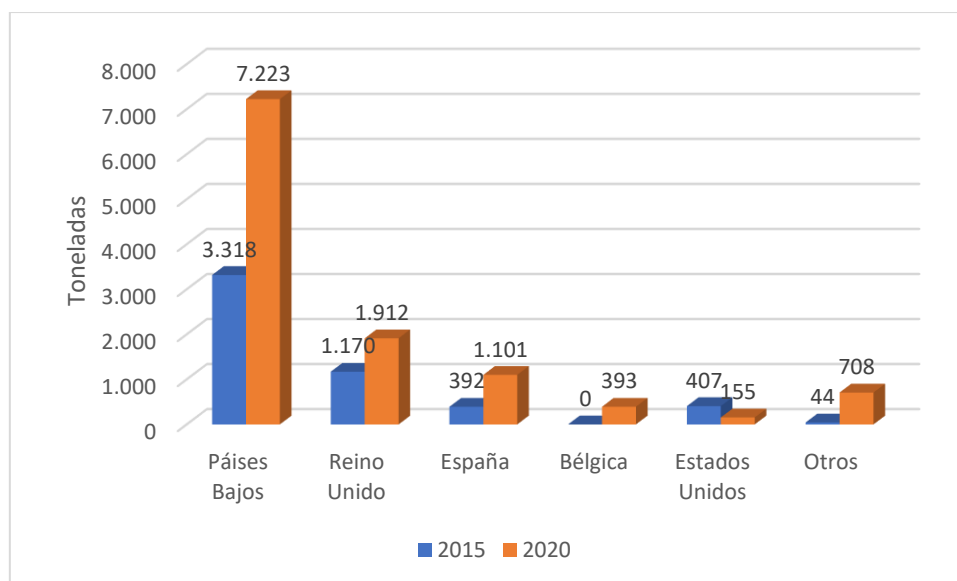
Figura 2.*Evolución en la producción del aguacate en Colombia (2015-2020)*

Nota. Esta gráfica muestra el crecimiento en la producción del aguacate entre los años 2015 y 2020 en Colombia. Elaboración propia a partir de información tomada del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021).

En cuanto a las exportaciones, se observa que el principal destino de exportación es el continente Europeo, en países como Países Bajos, España y Reino Unido. En la siguiente gráfica se muestra la exportación del aguacate por toneladas, estableciendo un comparativo entre el 2015 y el 2020:

Figura 3.

Exportación por toneladas 2015-2020



Nota. Este gráfico permite observar datos referentes a la exportación del aguacate colombiano a diversos países del mundo, entre el 2015 y el 2020. Elaboración propia a partir de información tomada del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021)

En general, se observa un importante crecimiento en la producción nacional del aguacate y en las exportaciones. Cabe tener en cuenta que las exportaciones a estados Unidos se han reducido principalmente por convenios que ha desarrollado este país con México para satisfacer casi que el 100% de su demanda de aguacate (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021).

En lo referente a la importancia económica del aguacate, es preciso también tener en cuenta que en el desarrollo de la industria alimentaria se generan, en medio de los procesos de cosecha y distribución, una importante cantidad de desechos y de subproductos en cada una de las fases de las cadenas de producción. Muchas de estos subproductos son fuentes importantes de compuestos bioactivos, dentro de los que se destacan las vitaminas, los aceites, los constituyentes fenólicos y carotenoides (Werman y Neeman, 2015). De acuerdo con Ortiz-Avila et al. (2019), en los últimos años se ha

venido evidenciado una importante valorización económica de estos subproductos, pues se han comercializado como nuevos ingredientes alimentarios con importantes beneficios para la salud.

En cuanto a los subproductos del aguacate, se destaca principalmente el aceite, el cual posee importantes propiedades nutricionales y medicinales. Por ejemplo, de acuerdo con Ceballos y Montoya (2013) los aceites esenciales del aguacate se establecen como alternativas biotecnológicas con un importante valor nutricional para todas las personas, debido a que contiene antioxidantes que previenen o retrasan diversos tipos de daños en las células.

El aceite se utiliza principalmente para reducir la grasa saturada en la dieta de las personas, debido principalmente a su composición de ácidos grasos (Márquez-Ramírez et al. 2018). En particular, siguiendo a Barrera-López y Arrubla-Vélez (2017), este aceite se caracteriza por poseer una baja proporción de ácidos grasos saturados, mientras que al mismo tiempo posee una alta cantidad de ácido oleico, incluyendo además de ácidos grasos poliinsaturados.

Es preciso tener en cuenta que además del aceite de aguacate existen diversos subproductos que se han venido generando en el mercado, dentro de los cuales se pueden mencionar las mayonesas, el guacamole congelado, el plástico de aguacate (el cual se hace a través de los huesos que son transformados en polietileno) (Delgado et al. 2017). Incluso se destaca la producción de una cerveza de aguacate por parte de la compañía Primus. También se debe mencionar el jarabe medicinal, en el cual se aprovechan las vitaminas del fruto como medio para combatir enfermedades digestivas, reumatismo e incluso problemas de la próstata (Ozdemir y Topuz, 2004). En cuanto a los usos cosméticos, se destaca el uso de jabones de aguacate, cremas faciales y corporales ricas en vitamina E, shampoo y acondicionador con propiedades para hidratar el cabello (Delgado et al. 2017).

Propiedades nutricionales y saludables del aguacate

En cuanto a aspectos nutricionales importantes que hacen del aguacate un producto clave en la dieta de las personas, se resalta, principalmente, que posee todas las vitaminas que son requeridas por el organismo para funcionar correctamente y promover

su desarrollo y bienestar, a excepción de la vitamina B12, la cual solo se encuentra presente entre los animales (Fitriani, Setiati y Herawati, 2017). Por otro lado, se reconoce la importancia del ácido ascórbico, el cual se encuentra presente en grandes cantidades dentro del aguacate, el cual tiene la función de fortalecer el poder antioxidante de la vitamina E.

El aguacate se reconoce como una de las principales fuentes de grasas monoinsaturada, con altos contenidos de vitaminas A, C y E, Potasio, Magnesio, Hierro, Calcio y Sodio, que ayuda a reducir los niveles de colesterol LDL en sangre, además de aumentar el colesterol HDL (Contreras y barajas, 2021). De acuerdo con Monsalve et al. (2019), el aguacate en un fruto rico en aminoácidos, omega 3 y omega 6. De acuerdo con Pérez, Villanueva y Cosío (2009):

El aguacate es un alimento rico en nutrientes que contiene una alta proporción de AGM, una baja cantidad de AGS y nada de colesterol. Cerca del 60 por ciento de los ácidos grasos son monoinsaturados, el 20 por ciento poliinsaturados y los demás, saturados. Cuando el fruto madura, disminuye el contenido de ácido palmítico (saturado) y aumenta el del ácido oleico (monoinsaturado) (p. 44).

Es preciso anotar que los triglicéridos que se encuentran dentro del aguacate son aceites líquidos dentro de los cuales se destacan: “los ácidos grasos monoinsaturados e insaturados, que contienen vitaminas liposolubles en cantidad suficiente, y que no contienen colesterol” (Vivero et al. 2019, p. 33). Este aspecto es importante tenerlo en cuenta, ya que muchas personas prefieren evitar el consumo del aguacate porque piensan que puede causar un aumento en el colesterol (Isaza, Jaramillo y Mora, 2021). Sin embargo, se debe tener en cuenta que en el aguacate no predominan los ácidos grasos saturados, los cuales se encuentran principalmente en las carnes rojas. Por tanto, este tipo de aclaraciones con respecto a las propiedades del aguacate es clave para extender su consumo y para mejorar el desarrollo de las técnicas de extracción para la generación de subproductos (Isaza, Jaramillo y Mora, 2021).

En la investigación desarrollada por Reddy, Moodley y Jonnalagadda (2018), se plantea que el aguacate es un alimento importante en la dieta de las personas, teniendo en cuenta que su aporte calórico se acompaña de principios activos esenciales debido a la

gran cantidad de nutrientes que posee, los cuales se presentan en cantidades armónicas que favorecen un óptimo aprovechamiento.

Por su parte, se reconocen también los aportes de la Asociación Americana del Corazón, pues en el año 2006 recomendó que <20% del total de energía de la dieta debería ser consumida a través de AGMI. Se destaca, además, que la pulpa no es lo único del fruto que ayuda a generar efectos benéficos en la salud, pues diversos estudios (Moreno et al. 2012; Reddy, Moodley y Jonnalagadda, 2018; Werman y Neeman, 2015) han mostrado que la semilla también se asocia con importantes beneficios debido a la actividad antioxidante del contenido fenólico.

Los aguacates contienen diferentes tipos de vitaminas, como la Vitamina E, ácido Fólico y Glutación, los cuales brindan importantes propiedades antioxidantes y ayudan en la prevención del cáncer de próstata (Figueroa et al. 2021). Por otro lado, tienen alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, los cuales son importantes en la protección contra el cáncer y en la prevención de la acumulación del colesterol (Zúñiga et al. 2018). En cuanto a los aminoácidos esenciales, se destacan la arginina, fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, valina y triptófano, que ayudan en los procesos de síntesis de proteínas y metabolismo celular (Rodríguez-Martínez, 2022). Dentro de los minerales se destaca el calcio, cobre, fósforo, hierro, manganeo, potasio, selenio, sodio y zinc, esenciales para el metabolismo celular y para la circulación sanguínea (Ferreira y Santos, 2022). Finalmente, contiene carotenos como la luteína y la zeaxantina, que ayudan también a prevenir el cáncer y a proteger el hígado.

Con el fin de precisar la composición nutricional del aguacate, en la siguiente tabla se muestra información presentada por la FoodData Central de la USDA (2019):

Tabla 3.*Composición nutricional de 100 g de aguacate*

Componente	Cantidad	Unidad
Agua	73.2	g
Energía	160	Kcal
Proteína	2	g
Grasa	14.7	g
Ceniza	1.58	g
Carbohidrato	8.53	g
Fibra	6.7	g
Azúcares	0.66	g
Glucosa	0,37	g
Fructosa	0.12	g
Lactosa	0	g
Calcio	12	mg
Hierro	0.55	mg
Magnesio	29	mg
Potasio	485	mg
Sodio	7	mg
Selenio	0.4	µg
Vitamina C	10	mg
Niacina	1.74	mg
Vitamina B-6	0.257	mg
Ácido fólico	0	µg
Vitamina B-12	0	µg
Vitamina A	7	µg
Retinol	0	µg
Betacarotenos	62	µg
Vitamina D (D2+D3)	0	µg
Vitamina K	21	µg
Ácidos grasos saturados	2.13	g
Ácidos grasos mono saturados	9.8	g
Isoleucina	0.084	g
Leucina	0.143	g
Tirosina	0.049	g
Valina	0.107	g
Arginina	0.088	g

Nota. Esta tabla muestra la cantidad de diferentes compuestos nutricionales en 100 gramos de aguacate. Elaboración propia a partir de información tomada de USDA (2019).

En cuanto a los polifenoles, definido como un grupo de sustancias con una alta capacidad antioxidante, en el aguacate se presentan los siguientes:

Tabla 4.

Polifenoles en la piel y semilla del aguacate

Polifenoles	Tiempo de retención	UV λ_{max}	[M-H]
Piel			
5-0- caffeolyquinic acid	15.4	324	353
Procyanidin dimmer B (I)	17.3	278	577
Procyanidin dimmer A	18.9	279	575
Catechin	20.2	278	289
Procyanidin dimmer B (II)	23.8	279	577
Quercetin-3,4-diglucoside	26.4	356	625
Quercetin-3,-0-rutinocide	27.2	354	609
Quercetin-3,0- arabinosyl-glucoside	29.6	355	595
Quercetin-3,0- arabinosdde	29.7	354	433
Quercetin-3,0- galactoside	33.9	354	463
Quercetin-3,4- glucoside	35.5	356	463
Quercetin derivative (I)	40.3	353	479
Quercetin derivative (II)	40.9	353	609
Quercetin derivative (III)	44.4	355	565
Semilla			
3-0- caffeolyquinic acid	10	326	353
3-0-p-coumaroylquinic acid	13.5	314	337
Procyanidin timer A (I)	19.1	280	863
Procyanidin timer A (II)	21.7	280	863
Catechin/epicatechin gallate	33.8	266,299	441

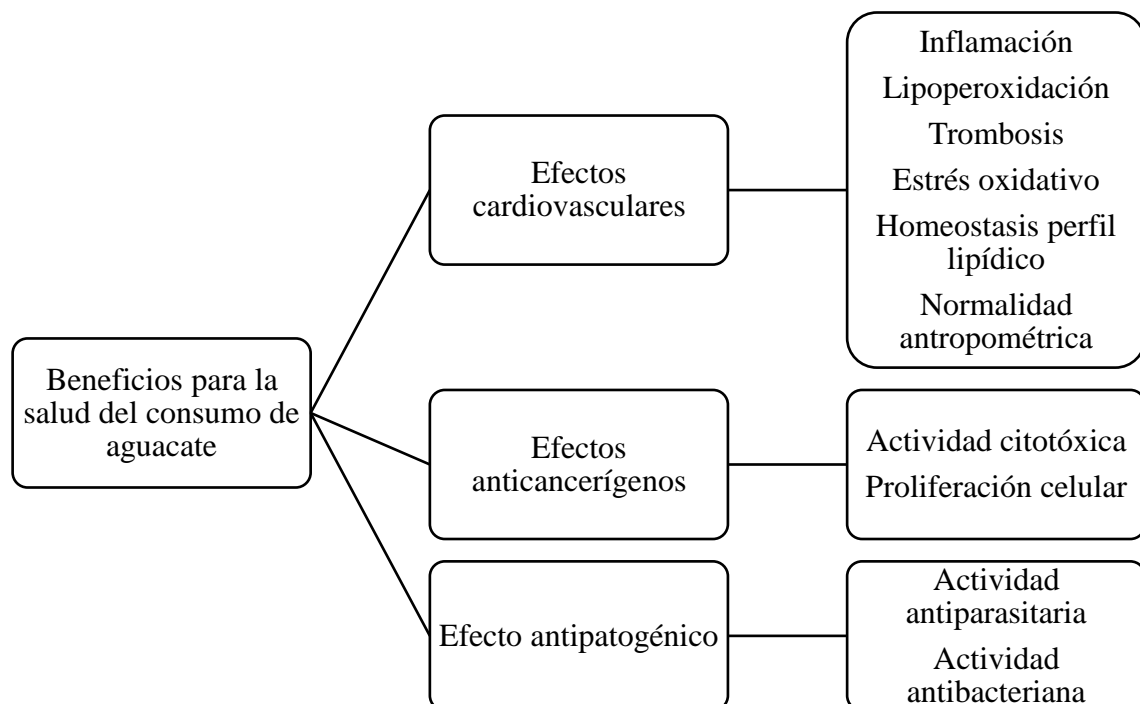
Nota. En esta tabla se muestran los diferentes polifenoles que se encuentran en la piel y en la semilla del aguacate. Tomado de Araujo et al. (2018)

Siguiendo el análisis planteado por Araujo et al. (2018), la caracterización de componentes fenólicos y actividad antioxidante de extractos de piel y semilla de aguacate revelan un predominio de compuestos perteneciente al grupo de los flavonoides, proantocianidinas y ácidos hidrocínámicos. Por su parte, Isaza, Jaramillo y Mora (2021) encuentran que los componentes fenólicos que se encuentran en los subproductos del aguacate tienen agentes estabilizadores de radicales libres, razón por la cual tienen importantes propiedades antioxidantes que pueden ser utilizadas para el desarrollo de diversos subproductos en diferentes industrias.

Teniendo en cuenta los componentes nutricionales del aguacate que se han presentado, en la siguiente figura se presentan los diversos beneficios para la salud que se generan a través del consumo continuo del aguacate, de acuerdo con la revisión desarrollada por Vivero et al. (2019):

Figura 4.

Beneficios para la salud del consumo de aguacate



Nota. Esta tabla muestra diversos beneficios del consumo del aguacate para la salud. Elaboración propia con información tomada de Vivero et al. (2019).

Otro factor importante que se debe tener en cuenta es que el aguacate, a diferencia de muchos otros alimentos que deben pasar por un proceso de cocción en el cual se presenta la pérdida de las vitaminas y la desnaturalización de las proteínas, puede ser consumido fresco, lo cual permite garantizar el mantenimiento e ingesta total de sus nutrientes (Barrera-López y Arrubla-Vélez, 2017). Teniendo en cuenta el análisis planteado, a continuación, se presentan los diversos subproductos del aguacate, dentro de los cuales se destaca el aceite.

Se observan en la literatura diversos estudios en los cuales se analizan los beneficios que se generan en las dietas cuando se incluye el consumo continuo del aceite de aguacate. Por ejemplo, Nicolella et al. (2017) encuentran que cuando las dietas se enriquecen con este producto se ayuda a reducir el colesterol total, además del colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad). Por su parte, en el estudio elaborado por Álvarez, Reyes y López (2019) con personas que sufrían diabetes mellitus tipo 2, se observó que el consumo del aceite de aguacate ayudaba a reducir de manera significativa los triglicéridos del plasma.

En conjunto, se puede decir que el aceite de aguacate ayuda a reducir la presencia de riesgos cardiovasculares debido a su composición particular de ácidos grasos. Es importante, por tanto, tener en cuenta la composición lipídica del aceite del aguacate. Si bien es cierto que dicha composición varía dependiendo de factores como el período de maduración, el tiempo de cosecha y las variedades que existen del aguacate, existen algunas generalidades que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Tipos de ácidos grasos en el aguacate

Tipo de ácido graso	Ácido graso	g/100g
Saturado (16-20%)	Palmítico	12-5
	Estearico	14-0
	Araquídico	0.2 – 0-4
Monoinsaturado (66-72%)	Palmitoleico	4.0 – 5.0
	Oleico	70-74
	Gadoleico	0-1
Poliinsaturado (8-13%)	Linoleico	9.0
	Alfa-Linolénico	0.3-0.6

Nota. Esta tabla muestra los tipos de ácido graso que se presentan en el aguacate. Tomado de Vivero et al. (2019).

En la investigación elaborada por Qin y Zhong (2016), se observa que los subproductos del aguacate tienen importantes compuestos bioactivos debido a sus actividades biológicas, dentro de las cuales se resalta la antioxidante y la antiinflamatoria. Sin embargo, autores como Dreher y Davenport (2013) encuentran que los subproductos del aguacate también poseen importantes propiedades antimicrobianas, antivirales y antiproliferativas. Finalmente, Delgado et al. (2017) encuentran que también se asocian con el desarrollo de acciones vasodilatadoras, lo cual es clave en la prevención de enfermedades coronarias y en el desarrollo de problemas neurodegenerativos.

Subproductos del aguacate

Los subproductos del aguacate son la piel, semilla y cáscara. De acuerdo con Bressani (2009), la cáscara representa entre el 11 y 16% del peso del aguacate, y la semilla entre el 14 y 24%. Principalmente, la pulpa de aguacate contiene la mayor cantidad de propiedades nutricionales, debido a la presencia de diferentes compuestos fenólicos con diversas clases químicas, desde ácidos fenólicos simples como el ácido gálico hasta flavonoides, antocianidinas y tocoferoles con importantes propiedades antioxidantes, neuroprotectoras y actividades cardioprotectoras (Figuerola et al. 2021). Por otro lado, las semillas del aguacate se pueden utilizar para prevenir y tratar trastornos gástricos debido a sus propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y antimicrobianas.

En cuanto a la piel o cáscara, autores como Ong et al (2022) señalan que su extracto puede reducir el deterioro del movimiento y la peroxidación lipídica asociado a la enfermedad de Parkinson. La cáscara de esta fruta también se relaciona una amplia gama de actividades antimicrobianas contra bacterias Gram positivas o Gram negativas (Figuerola et al. 2021). Por su parte, Figuerola et al. (2018), reconocen el potencial de la cáscara de aguacate como fuente de ingredientes bioactivos para su uso en el sector alimentario, cosmético o farmacéutico.

De acuerdo con Zúñiga et al. (2018), es importante reconocer que el procesamiento industrial del aguacate genera grandes cantidades de subproductos, que van del 18% al 23% del peso seco de la fruta (Trujillo-Mayol et al. 2022). Por lo tanto, teniendo en cuenta los beneficios de los subproductos, es clave reutilizarlos como estrategia para reducir su impacto negativo en el medio ambiente y para agregarles valor, pues son fuentes de importantes compuestos fitoquímicos (Mirabal et al. 2021).

Es importante también tener en cuenta estadísticas de generación de cada subproducto. En la siguiente tabla se muestran la composición química de los subproductos del aguacate en el aguacate Hass:

Tabla 5.

Composición química de la semilla y la piel del aguacate Hass

	Humedad	Minerales	Lípidos	Fibras	Proteínas	Carbohidratos
Semilla	14.55	2.81	3.32	3.97	0.14	-
Piel	14.5	6.05	9.14	50.65	8.28	62.03

Nota. Esta tabla muestra los valores en la composición química de la semilla y la piel del aguacate Hass (base seca, % p/p). Tomado de Araujo et al. (2018).

Por otro lado, en el estudio elaborado por Rodríguez-Carpena et al. (2011), se realiza un comparativo sobre los valores de composición química proximal de la cáscara de aguacates 'Hass' cultivados en Colombia y España, como se muestra a continuación:

Tabla 6.

Composición química de la piel del aguacate Hass en cultivos de Colombia y España

	Humedad	Grasa	Proteína	Cenizas	Fibra
Colombia	75.96	1.01	1.77	0.85	-
España	75.75	2.22	2	1.47	12.28

Nota. Esta tabla muestra los valores en la composición química de la piel del aguacate Hass en cultivos de Colombia y España. Tomado de Rodríguez-Carpena et al. (2011).

A través de sus análisis, tanto Araujo et al. (2018) como Rodríguez-Carpena et al. (2011), reconocen que la piel tiene un escaso valor nutritivo, razón por la cual su tratamiento puede estar enfocado al desarrollo de compuestos bioactivos, a través del uso de diversas técnicas de extracción. Por lo tanto, a continuación, es importante definir las diversas técnicas de extracción que se han desarrollado en la industria, las cuales incluyen procesos de tipo industrial, artesanal y analítico, las cuales tienen la finalidad de obtener la mayor cantidad de aceite, sin llegar a generar modificaciones o alteraciones en su calidad (Ashton et al. 2006).

Técnicas de extracción

A través de los años, los procesos de extracción se han hecho cada vez más sofisticados, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías que han ayudado a desarrollar procesos de extracción por solventes (Sacks et al. 2017). De acuerdo con Ortiz et al. (2017), la extracción de los aceites se realiza generalmente a través del prensado de la pulpa o de la semilla, obteniendo un aceite que es posteriormente colado, decantado en tanques y clarificado. Para el aceite de aguacate, generalmente se utilizan las siguientes técnicas:

- Extracción por Campo eléctrico pulsado (PEF): A través de la fuerza centrífuga se hace que las partículas se sedimenten, logrando que los líquidos que poseen diversas densidades se separen. La pasta de aguacate se asemeja a la emulsión de aceite agua y sólidos en suspensión, razón por la cual la fuerza centrífuga es clave en la separación de los sólidos, en un proceso en el cual el líquido de mayor densidad se ubica en las paredes del recipiente (Sacks et al. 2017).
- Extracción por prensado: Se realiza la separación a través de la compresión del sólido, de tal manera que el líquido pueda escapar mientras que el sólido es retenido (Ortiz et al., 2017).
- Extracción con solventes: En esta técnica se calientan las semillas para luego lavarlas con solventes derivados del petróleo (Rojas-García et al. 2022). De acuerdo con, al añadir solventes al proceso de extracción hace, el resultado que se genera se restringa a áreas que no son nutricionales, como el área cosmética.
- Extracción asistida por ultrasonido: La técnica del ultrasonido parte del desarrollo del fenómeno de cavitación, por medio del cual se rompe la pared de las células vegetales, lo cual permite extraer el aceite de los subproductos del aguacate sin degradar o afectar otros componentes que influyen en el aroma y en el sabor (Figueroa et al. 2021).
- Extracción con fluidos supercríticos: Es una técnica de extracción que se caracteriza por ser limpia y libre de generación de residuos tóxicos (Ferreira y Santos, 2022). Consiste en una técnica mediante la cual un fluido es

sometido a una presión y temperatura por encima de su punto crítico, de tal manera que se convierte en un fluido supercrítico, con una densidad y viscosidad menor a los líquidos, pero con una difusividad mayor, lo cual mejora el poder de solvatación (Segovia, Corral y Aljamano, 2016).

- Extracción con microondas: se define como una tecnología de extracción asistida, a través de la cual se combina el calentamiento con microondas y la concentración seca para aislar los aceites esenciales. En esta técnica se reduce considerablemente el uso de los solventes, y se generan rendimientos altos en un tiempo corto de extracción (Páramos et al. 2020).
- Extracción con enzimas: Las enzimas se definen como una serie de compuestos proteicos que son extraídos de las células, y que permiten acelerar el desarrollo de diversos tipos de reacciones (Mirabal et al. 2021). Cuando se hace uso de este sistema de extracción, se incrementa la recuperación de aceite y de proteína en las semillas vegetales, ayudando además a reducir costos y requerimientos de energía.
- Descargas eléctricas de alto voltaje (HVED): en esta técnica se aplican campos eléctricos con una alta intensidad y corta duración al producto, lo cual provoca como resultado la permeabilización de las membranas celulares. La descarga de alta intensidad y corta duración ayuda a que no se genere un aumento significativo en la temperatura del alimento (Rojas-García et al. 2022).
- Alta presión hidrostática (HHP): Es una tecnología mediante la cual es posible inactivar microorganismos en los productos, sin llegar a modificar las características nutricionales y organolépticas del alimento (Segovia, Corral y Aljamano, 2016). En particular, la presión alta genera un incremento en la viscosidad del citoplasma, interfiriendo de esta forma en la división celular (Figuerola et al. 2021).
- Liofilización: Por medio de la liofilización se extrae el agua de la pulpa a través de un proceso de congelación y deshidratación por sublimación del hielo. En particular, este método de extracción permite mejorar en lo que tiene que ver con la retención del aroma y del sabor, conservando además el valor

nutricional del producto, razón por la cual es una buena técnica para el desarrollo de subproductos nutricionales (Serpa et al. 2014).

Al momento de elegir la técnica de extracción, es preciso evaluar factores como la densidad y la viscosidad, con el fin de generar un aceite que esté libre de impurezas y que tenga un alto valor en el mercado (Contreras y Barajas, 2012). Por otro lado, independientemente del proceso de extracción que se emplea, es importante desarrollar buenos procesos de selección del fruto, teniendo en cuenta aspectos como el grado de madurez, el contenido de aceite y una serie de parámetros de calidad que varían dependiendo del productor y de los fines de mercado y de comercialización de los productos.

Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos se definen como sustancias químicas que generan importantes beneficios para la salud de los seres humanos y de los animales, y que se encuentran en pequeñas cantidades dentro de algunas plantas y alimentos (Flores et al. 2019). Dentro de los principales compuestos bioactivos se destacan los carotenoides, polifenoles, el licopeno, el resveratrol, los lignanos, los taninos y los indoles. Según Ashton et al. (2006), estos compuestos influyen en las actividades celulares y fisiológicas. Sin embargo, no son considerados como nutrientes, por lo cual no se puede decir que sean esenciales para la vida (Delgado et al. 2017).

Los efectos de estos compuestos se presentan, a nivel de la salud del cuerpo humano, generalmente en la prevención de las enfermedades no transmisibles (Isaza, Jaramillo y Mora, 2021). Por esta razón, son compuestos que han venido adquiriendo un importante reconocimiento por parte de la comunidad médica y de los consumidores en general, ya que se han venido incluyendo en el desarrollo de los hábitos alimenticios y el diseño de nuevos productos (Qin y Zhong, 2016). Por tanto, en lo que respecta al aguacate, es importante tener en cuenta con Isaza, Jaramillo y Mora (2021) que:

El aguacate posee una gran cantidad de metabolitos como son los polifenoles y dentro de estos los flavonoides que gracias a su estructura química se convierten en productos altamente beneficiosos y activos para el hombre. En las cáscaras y semillas del aguacate se encuentran vitaminas, antioxidantes y minerales, que sugieren que los

residuos orgánicos son una óptima materia prima para la fabricación de productos farmacéuticos y cosméticos (p. 13).

En este sentido, autores como Tremocoldi et al. (2018); Ferreira y Santos (2022); y Figueroa et al. (2021) destacan que los subproductos del aguacate son una fuente económica potencial para la obtención de compuestos bioactivos para el desarrollo de ingredientes funcionales o compuestos. En particular, los ingredientes funcionales se definen como compuestos fenólicos (CF), los cuales tienen importantes usos potenciales para la prevención y tratamiento de diferentes tipos de enfermedades (Mirabal et al. 2021). En las investigaciones de autores como Trujillo et al. (2021); y Yamasaki et al. (2017) se ha reportado que los subproductos de los vegetales, como la piel y la semilla, contienen más compuestos fenólicos o ingredientes funcionales que la pulpa o la porción comestible.

Sin duda alguna, estos hallazgos se establecen como factores relevantes a tener en cuenta para el desarrollo de estrategias de aprovechamiento de los subproductos de aguacate, teniendo en cuenta que en sus subproductos se destaca la presencia de diferentes compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos, además de diferentes fitoquímicos antioxidantes como los tocoferoles, caratenoides, fitoesteroles y alcaloides (Tremocoldi et al, 2018).

Los Tocoferoles, más conocidos como vitamina E, son nutrientes con importantes impactos para la salud, como la mejora de la circulación sanguínea y la prevención de coágulos. Además, ayuda a reforzar el sistema inmunitario (Ferreira y Santos, 2022). Los Carotenoides se definen como sustancias que al ser consumidos se transforman en vitamina A en el cuerpo, y son importantes en la prevención del cáncer (Trujillo et al. 2021). Por otro lado, los fitoesteroles se definen como factores alimentarios que reducen la absorción de colesterol en el intestino (Rojas-García et al. 2022). Finalmente, los alcaloides son metabolitos secundarios de las plantas sintetizados a partir de aminoácidos (Melgar et al. 2018).

Aplicaciones de los compuestos bioactivos obtenidos de los subproductos del aguacate

Para finalizar, en este apartado es importante considerar el análisis de antecedentes en los cuales se hayan desarrollado diversas técnicas de extracción y tratamiento de los subproductos del aguacate para obtener compuestos bioactivos. Figueroa et al. (2018) desarrollaron una investigación con el fin de optimizar la extracción de compuestos fenólicos en cáscara de aguacate mediante extracción líquida a presión (PLE) con solventes GRAS. Se utilizó la metodología de superficie de respuesta (RSM) para optimizar las condiciones de PLE. Además, se evaluó el efecto de la temperatura de secado al aire sobre el contenido de polifenoles totales y la concentración de compuestos fenólicos individuales.

Los resultados confirman que la extracción líquida a presión representa una potente herramienta para obtener extractos de cáscara de aguacate con alta concentración en compuestos bioactivos aptos para su uso en el sector alimentario, cosmético o farmacéutico. 47 compuestos fenólicos fueron cuantificados en los extractos obtenidos, mostrando que los ácidos fenólicos resultaron ser los compuestos más estables al proceso de secado, mientras que las procianidinas fueron los analitos más termolábiles. La extracción líquida a presión se establece como una herramienta fundamental en la conservación de las cualidades físicas y químicas del aguacate en el desarrollo de subproductos con compuestos bioactivos.

López (2017), al caracterizar los compuestos bioactivos de productos y subproductos vegetales como el aguacate y el mango a través de técnicas cromatográficas acopladas a espectrometría de masa, determina la actividad antioxidante a través de DDPH y ABTS. Observa que la cromatografía permite la separación de mezclas complejas, generando como resultado una mayor resolución. En particular, se genera una separación de los componentes de la muestra dependiendo de la afinidad entre una fase móvil y una fase estacionaria.

De esta forma, la separación se genera a través de diferencias en las constantes de distribución de los dos componentes. Se observó, a través de la técnica implementada, que hay un mayor contenido de compuestos fenólicos en la pulpa y el hueso del aguacate con un estado de maduración un poco más pasado con respecto a aguacates en estado

óptimo de maduración, lo cual es un hallazgo clave para tener en cuenta a la hora de tratar los subproductos. Se demuestra la eficiencia de esta técnica para extraer compuestos bioactivos en la pulpa, piel y hueso del aguacate.

Melgar (2019) exploró las características nutricionales, sensoriales y nutraceuticas del aguacate y sus subproductos, para promover el aprovechamiento de los residuos en las industrias alimentarias. Para el desarrollo de la exploración se implementaron diversas técnicas analíticas, bioquímicas y microbiológicas, con el fin de determinar diversas alternativas de uso de los subproductos. Se desarrollaron diversas técnicas de extracción, dentro de las cuales se destaca la extracción por ultrasonido, por agitación y por microondas, empleados para ellos diversos parámetros con muestras frescas, secas o liofilizadas.

Se observa que la capacidad antioxidante de los subproductos del aguacate es mucho mejor que la de los frutos, razón por la cual se destaca la importancia del aprovechamiento de los residuos como medio para generar compuestos activos. Se concluye que la piel del aguacate tiene mejores propiedades antioxidantes que las semillas. Además, se destaca la importancia de emplear diversas técnicas de extracción con el fin de mejorar la calidad de los subproductos que se obtienen, a través de procesos en los cuales se modifican los parámetros y las condiciones, promoviendo de esta manera una mayor eficiencia.

Paramos et al. (2020) estudian la extracción de aceite y la recuperación de compuestos bioactivos de semillas y cáscaras de aguacate brasileño y mexicano del cultivo Hass, usando Soxhlet (SE) con hexano, etanol y acetato de etilo como solventes; y dióxido de carbono supercrítico ($scCO_2$) con etanol y acetato de etilo como codisolventes. A partir de las técnicas usadas, se midió el perfil de ácidos grasos, el contenido fenólico total y la actividad antioxidante en semillas de aguacate. Los mayores rendimientos de extracción se observaron cuando se utilizó etanol como disolvente en SE (hasta 14% en peso) y como codisolvente en $scCO_2$ (hasta 6,9% en peso). El contenido fenólico total TPC fue mayor al usar el método Soxhlet con las semillas de aguacate, y los valores más altos de actividad antioxidante se obtuvieron utilizando también este método. Se destaca la importancia del método Soxhlet para mejorar la eficiencia del proceso de extracción y la conservación del contenido fenólico y antioxidantes en el aguacate.

Por su parte, Figueroa et al (2018) identifican los compuestos bioactivos presentes en un extracto de cáscara de aguacate obtenido mediante la técnica de extracción verde. Se utilizó cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas precisa de ultra alta definición para identificar los compuestos bioactivos. La extracción acelerada con solventes se realizó utilizando agua y etanol como solventes de extracción. Se identificaron un total de sesenta y un compuestos pertenecientes a once familias. Las procianidinas, los flavonoles, los ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinámico fueron los compuestos más comunes. Se resalta el uso de técnicas de extracción verdes mediante solventes como agua y etanol.

Calderon et al. (2016) evaluaron la su capacidad antioxidante y antimicrobiana de subproductos del aguacate. Se desarrolló un análisis experimental en una superficie de respuesta que permitió evaluar las propiedades de los extractos solos o en combinación entre ellos o con nisina. Se empleó la técnica de agitación magnética como medio para generar los extractos del aguacate, usando la decocción de las semillas y del epicarpio. Para el desarrollo de subproductos, la técnica de agitación resulta ser más eficiente en el epicarpio para la obtención de compuestos fenólicos. Se observa también que la combinación entre el extracto de epicarpio y nisina tienen una mayor capacidad antioxidante y antimicrobiana. Se concluye que es clave avanzar en el desarrollo de alternativas de extracción de subproductos del aguacate a través de la agitación, que es una técnica sencilla que ayuda a tratar fuentes poco usuales como los residuos del fruto.

Tan et al. (2018) comparan las características de calidad, fitoquímicos bioactivos y capacidades antioxidantes del aceite de aguacate virgen extraído mediante métodos ecológicos (extracción subcrítica con CO₂ (SCO₂) y extracción acuosa asistida por ultrasonido (UAAE), con el método de extracción por solvente convencional. Se utilizaron diversas muestras de aguacate y se desarrolló la extracción a partir de los tres métodos señalados, observando diferencias en los resultados finales del aceite obtenido. El aceite de aguacate extraído con SCO₂ exhibe niveles de α - y γ -tocoferoles de dos a cuatro veces mayores que la extracción con solventes y UAAE. Los componentes volátiles asociados con los sabores a nuez y hierba solo se detectan en el aceite de aguacate extraído en condiciones de extracción a baja temperatura, como SCO₂ y UAAE.

Con base en las pruebas de capacidad antioxidante, el aceite de aguacate obtenido por SCO₂ exhibe la mayor capacidad antioxidante en comparación con la extracción con

solventes y la UAAE. Los resultados indican que las propiedades de calidad del aceite de aguacate no se ven afectadas por los métodos de extracción. Sin embargo, se destaca el uso de SCO_2 para proteger la capacidad antioxidante del aguacate. Por tanto, es una técnica de extracción de aceite prometedora para obtener aceite de aguacate sin disolventes con usos potenciales en alimentos funcionales y productos para el cuidado de la salud.

Neira et al (2021) estiman el efecto de diversos métodos de extracción en la humedad, densidad y perfil de ácidos grasos del aguacate. Para ello, se emplearon tres métodos distintos de extracción en de 3 variedades distintas de aguacate, evaluando posteriormente las propiedades fisicoquímicas de los aceites obtenidos. Las muestras fueron deshidratadas mediante dos métodos: deshidratación por calor (70°C por ± 5 horas) y deshidratación en frío (3°C por ± 2 semanas). A una parte de la muestra se le aplicó un proceso extracción mecánica, usando prensa de extracción accionada por aire comprimido, y aplicando una presión constante de 120 psi. A otra parte de la muestra se le aplicó el equipo GOLD-FISCH utilizando éter di-etílico como solvente de extracción. Se destaca la relevancia de la técnica de extracción por prensado en frío, pues genera los mejores resultados fisicoquímicos en las muestras, además de un mejor perfil de ácidos grasos, lo cual debe ser tenido en cuenta para el desarrollo de subproductos. El aceite del aguacate Hass obtuvo las mejores características fisicoquímicas y el mejor rendimiento de extracción, cuando se hace uso de la extracción por prensado en frío, pues conserva mejor las propiedades nutricionales del fruto.

A través del análisis que se ha planteado, se resalta y se confirma el potencial de la cáscara de aguacate como fuente de ingredientes bioactivos para su uso en el sector alimentario, cosmético o farmacéutico. Los subproductos del aguacate tienen un importante potencial antioxidante, razón por la cual se puede decir que son compuestos clave en la industria cosmética y farmacéutica. Los componentes fenólicos que se encuentran en los subproductos del aguacate tienen agentes estabilizadores de radicales libres, razón por la cual tienen importantes propiedades antioxidantes que pueden ser utilizadas para el desarrollo de diversos subproductos en diferentes industrias.

Metodología

Se planteó el desarrollo de una investigación cualitativa, a través de una revisión de la literatura, enfocada en identificar y analizar evidencias asociadas con las técnicas de extracción empleadas para obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de aguacate como potencial fuente de ingredientes funcionales. Se precisó, por tanto, de definir criterios de inclusión y de exclusión, bases de datos, términos de búsqueda, operadores booleanos y filtros para la selección de los artículos o documentos analizados que serán tenidos en cuenta en la matriz. Principalmente, se destacaron los siguientes criterios de inclusión:

- Artículos publicados en revistas indexadas.
- Trabajos de investigación de pregrado, maestría, doctorado y especialización publicados en los repositorios de universidades.
- Artículos o trabajos de investigación publicados entre el 2014 y el 2022.
- Textos publicados en idioma español o inglés.

Criterios de exclusión:

- Resúmenes, cartas al editor, comentarios, o editoriales.
- No disponibles en texto completo
- Publicados en un idioma diferente al español o inglés.

Se consideraron las siguientes bases de datos: Science direct, Scopus, Springer, Pubmed, Taylor & Francis. Para la búsqueda, se seleccionaron las siguientes ecuaciones de búsqueda en idioma español, con su correspondiente traducción al inglés:

- Extracción con solventes y aguacate
- Extracción asistida por ultrasonido y aguacate
- Extracción con fluidos supercríticos y aguacate
- Extracción con microondas y aguacate
- Extracción con enzimas y aguacate
- Campo eléctrico pulsado y aguacate
- Descargas eléctricas de alto voltaje y aguacate

- Alta presión hidrostática y aguacate

Para el proceso de filtrado de los artículos, fue importante tener en cuenta los siguientes aspectos en la revisión:

- Fecha, idioma y texto completo
- Palabras clave y título.
- Relación del artículo con los objetivos de la investigación
- Duplicidad
- Resumen
- Conclusiones y discusión

De esta manera, a través de un proceso de filtrado que permitió tener en cuenta la relación y la pertinencia de los artículos, se desarrolló la matriz de revisión literaria, el análisis y la discusión para presentar información en relación a cada uno de los objetivos de investigación. A continuación, se presenta el flujograma de la selección de artículos.

En total, se obtuvieron 21 registros que cumplen con los criterios de inclusión. Fueron 9 artículos de la base de datos Science Direct, 4 de Research gate, 3 de MDPI, 2 de Pubmed, 1 de Taylor and Francis, 1 de Wiley y 1 de Springer link. A continuación, se presenta el desarrollo de los resultados de la investigación.

Resultados

El objetivo de la monografía es analizar los procesos y técnicas de extracción reportadas en la literatura para la obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de aguacate como potencial fuente de ingredientes funcionales. En primer lugar, se analizan las Técnicas de extracción para la obtención de bioactivos de subproductos del aguacate, a través de una matriz de revisión literaria. En segundo lugar, por medio de un proceso analítico, se establece la comparación de las técnicas de extracción y tratamiento de los subproductos del aguacate

Técnicas de extracción para la obtención de bioactivos de subproductos del aguacate

Para cumplir con el primer objetivo, se precisa del desarrollo de una matriz de revisión literaria para identificar las técnicas de extracción y tratamiento que se han venido desarrollando para obtener bioactivos partir de subproductos de aguacate. En la siguiente tabla se presenta la matriz.

Tabla 7.*Matriz de revisión*

Método de extracción	Subproducto	Condiciones	Tipo de compuesto bioactivo	Contenido de polifenoles totales	Capacidad antioxidante	Referencia
Extracción asistida por microondas	Cáscara	La condición óptima estimada para obtener compuestos bioactivos con mayor actividad antioxidante fue de 66,37 °C por 0,97 min con 42,58% de etanol,	Compuestos fenólicos	189.06 mg GA/g de cáscara seca.	268.04 ± 25.11 μmol ET/100 g	Araujo et al. 2021.
Extracción asistida por ultrasonido	Hojas	Aumento de la temperatura y el poder del ultrasonido dio como resultado extractos con mayor contenido de polifenoles y capacidad antioxidante.	Compuestos fenólicos	Osciló entre 0,81 y 0,96 mg TE/g en la Semilla.	0,78 ± 0,99 μmol ET/100 g	Segovia, Corral y Aljamano (2016) Yamassaki, F., Camestrini, L., Zawadzki-Baggio, F., y Baron, F. (2017)
Proceso de secado e incubación térmica	Hojas	El Contenido fenólico total y actividad antioxidante del extracto hidroalcohólico de hojas de aguacate (<i>Persea americana</i>) se determinaron mediante α, α -difetil- β picrilhidrazilo, $\cdot\text{NO}$, O_2^- y prueba de captura y poder reductor de radicales OH	Compuestos fenólicos	Los valores variaron de 201.6 ± 8.0 a 250,8 ± 6,6; y de 225,4 ± 20,4 a 271,5 ± 33,8 μg de equivalentes GA/mg de extracto seco a 4°C y 25°C, respectivamente.	57.8 ± 5.4 μg/mL en extracto de hojas de aguacate	Yamassaki et al. (2017)

Extracción hidroetanólica	Piel y semilla	Los extractos hidroetanólicos de cáscaras y pepitas de Persea americana fueron analizados en cuanto a su perfil fenólico individual por HPLC-DAD/ESI-MS y correlacionados con sus actividades antioxidantes, antimicrobianas y citotóxicas	Compuestos fenólicos	(227.9 mg/g de extracto)	149 ± 5 μmol TE/g DW	Melgar et al. (2018)
Extracción por solventes y cromatografía líquida	Semilla y cubierta de semilla	La identificación se realizó sobre la base de sus valores de tiempo de retención, espectros UV-Vis, interpretando la precisión información masiva determinada, junto con información previamente reportado en la literatura.	Ácidos orgánicos, fenólicos, derivados de alcoholes fenólicos, flavonoides, catequinas, taninos y otros compuestos polares.	TR 18,2 min y m/z 137.025. Su fragmento principal se encontró en m/z 108.022 y 119.014	432 ± 3 μmol TE/g DW	Figuroa, Borrás, Lozano y Segura (2018)
Extracción con microondas	Piel	La composición fenólica del extracto verde de aguacate desarrollado se caracterizó mediante HPLC acoplado a analizadores MS.	Compuestos fenólicos	73 ± 4 C (mg GAE/g de piel de aguacate)	mmol Eq T / g DE 1.34 ± 0.01	Figuroa et al. (2021)
Extracción por solventes (etanol, metanol, butanol, metilo, cloroformo, acetona, trietilamina)	Pasta	La liberación de los compuestos fenólicos de la pasta de aguacate y su capacidad antioxidante fueron más altas en la fase gástrica de una digestión in vitro. Los análisis in silico mostraron que el ácido ferúlico tenía la interacción más fuerte con colesterol, lo que	Compuestos fenólicos	2.1 mg GAE/g dw	Osciló entre 1.57–5.89 mg TE/g 39 web DPPH	Zúñiga et al. (2021)

		sugiere un posible mecanismo para inhibir su absorción intestinal.				
Solventes	Semillas	La metodología de investigación se basó en experimentos in vitro, mediante análisis por triplicado. Los datos generados fueron presentados como media \pm desviación estándar usando Excel 97- 2003 y programas OriginPro 2018	Compuestos fenólicos	76.6 \pm 2.2 (mg GAE/g de semilla de aguacate)	131.4 \pm 9.7 μ mol TE/g DW	Mirabal et al (2021).
Ultrasonido	Piel	Se aplicó la metodología de superficie de respuesta con el fin de optimizar las condiciones de extracción, mezclas de etanol-agua y tiempo	Compuestos fenólicos	18.1 \pm 43.6 mg GAE/g de piel de aguacate)	Van de 9,6 y 74,9 para DPPH; entre 48,8 y 146,5 para ABTS; y 17,5 a 41,6 para FRAP, todos expresados en mg TE/g de piel de aguacate seco.	Rodríguez et al. (2021).
Ultrasonido	Piel	Parámetros fisicoquímicos (humedad, pH, cenizas, proteínas, lípidos y carbohidratos) se midieron de acuerdo con métodos estándar (AOAC, 1998). Las pérdidas de procesamiento por cocción, empaque y almacenamiento fueron calculadas en los días de almacenamiento 1 (pérdida por cocción) y 10 (procesamiento total) pérdida),	Compuestos fenólicos	281.4 \pm 0.2 (mg GAE/g de piel de aguacate)	779,1 \pm 0,6 μ g de capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC), 167,0 \pm 2,3 μ g TEAC y 70,03% \pm 0,62, respectivamente	Trujillo et al (2021)

Solventes	Semillas	la maduración del fruto del aguacate 'Hass' se correlaciona positivamente con la mejora de la parámetros fisicoquímicos involucrados en el procesamiento del fruto y el incremento de compuestos nutraceuticos en la semilla.	Compuestos fenólicos	664.96 ± 2.17 DPPH (MM TE/g) para semillas no maduras y 711.75 ± 2.76 DPPH (MM TE/g) para semillas maduras.	(r = 0.5265	Sánchez, Capos y Loarca (2021)
Extracción asistida pro microondas	Piel y semillas	Temperatura (79,64 y 78,11 °C para la pie y 43,90 y 45,26 °C para semillas. Tiempo (11,89 y 11,75 min para la piel y, 10,18 y 10,28 min para las semillas. Relación agua materia prima (16,45% y 10,02% para piel, y 38,73% y 37,65% para semillas.	Compuestos fenólicos	10.104 y 5,604 mg GAE/g pf para la piel y semillas, respectivamente	(0.352 mg GAE/g fresh AP/min and 0.124 mg GAE/g fresh AS/min	Skenderidis, Leontopoulos, Petrotos, K y Giavasis (2021).
Disolventes eutécticos profundos	Piel	Los mejores resultados de extracción se obtuvieron con cloruro de colina-ácido acético y ácido -láctico. Sin embargo, todos los DES evaluados muestran una mejor eficiencia de extracción que el etanol.	Compuestos fenólicos	92.03 ± 2.11 mg GAE/g DAP en TPC y 186.01 ± 3.27 mg RE/g DAP	FRAP: 72.5–121.1 mg TE/g; TAC: 90.0–126.1 mg AAE/g)	Rodríguez-Martínez et al. (2022).
Solventes (etanol)	Piel	Para obtener los extractos de la cáscara de aguacate, las cáscaras se sometieron principalmente a un pretratamiento. Los AVP fueron seleccionados y lavados para eliminar cualquier tipo de impureza o signo de deterioro. Posteriormente, las muestras se congelaron a -80 °C y se	Compuestos fenólicos	38.23 ± 2.33 µgextract•mL ⁻¹	38.23 µg extracto mL ⁻¹	Ferreira y Santos (2022)

		lío-filizaron para eliminar toda el agua presentes en ellos.				
Solvente hidroetanólico	Piel	Se midió la capacidad de neutralizar los radicales derivados del oxígeno por el ensayo de capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC). La dilución de la muestra y el análisis se realizaron en fosfato tampón (pH 7,4).	Compuestos fenólicos	297.4 ± 10.7 mg	2.9 ± 0.00 µmol TEAC/g	Trujillo Mayo et al. (2022)
Extracción de agua caliente a presión	Semillas	La actividad antioxidante de los extractos de semilla de aguacate se determinó mediante Ensayos DPPH y ABTS como se describió previamente ¹¹ . Para determinar el efecto de la temperatura de extracción sobre la capacidad antioxidante, las muestras se extrajeron a diferentes temperaturas (60, 80, 100 y 120 °C).	Compuestos fenólicos	0.0855±0.0281	241.1 ± 34.7 µmol TEAC/g	Ong et al. (2022).
Solventes	Piel y semillas	extracción sólido-líquido de 3 ciclos (maceración) a 50–70 °C (semillas y cáscaras, respectivamente) utilizando una mezcla hidroalcohólica (EtOH 60%-cáscaras y 70%-semillas).	Compuestos fenólicos	190 ± 3 mg/g en la piel	60 ± 2 mg/g en la piel	Rojas et al. (2022).
Ultrasonido	Semilla	Sus propiedades antioxidantes se midieron con ensayos ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) y DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), y el contenido de	Compuestos fenólicos	328.8 ± 13.5 18.2 (mg GAE/g dw)	3.2 ± 0.2 (mmol Trolox/g de extracto seco)	Rosero et al. (2019).

		polifenoles totales se determinó por Folin –Método Ciocalteu.				
Turbolisis	Semilla	El análisis químico mediante espectrometría de masas por (-)-ESI-FT-ICR MS reveló la presencia de (-)-epicatequina y (+)-catequina, confirmadas por HPLC-DAD, y otros compuestos fenólicos importantes en las semillas de aguacate, como el cafeoilquínico ácido, flavonoides, fenilpropanoides y taninos, sustancias que favorecen la inhibición de las vías implicadas en la formación de úlceras gástricas.	Compuestos fenólicos	366.8	NR	Ramos et al, (2019)
Extracción con fluido supercrítico con dióxido de carbono	Semilla	Se utilizó Soxhlet (SE) con hexano, etanol y acetato de etilo como disolventes; y dióxido de carbono supercrítico (scCO ₂) con etanol y acetato de etilo como codisolventes	Compuestos fenólicos	51.36 ± 0.12	61 ± 2 mg/g de extracto de semilla	Paramos, Granjo, Corazza y Matos (2020)
Ultrasonido	Piel	Los compuestos solubles en etanol se identificaron en la cáscara y la semilla de ambas variedades mediante HPLC-MS/MS y se cuantificaron mediante HPLC-DAD.	Compuestos fenólicos	‘Hass’: 63.5 ± 7.2; ‘Fuerte’: 120.3 ± 7.8	310 ± 36.9 mg/g de extracto de piel	Tremocoldi et al. (2018)

Nota. Esta tabla muestra los hallazgos de la revisión de literatura. Elaboración propia . NR: No reporta.

Comparación de las técnicas de extracción y tratamiento de los subproductos del aguacate

Para cumplir con este objetivo, se plantea un análisis de los procedimientos, recursos y enfoques utilizados, con el fin de identificar las opciones más funcionales y eficientes, de acuerdo con los resultados de la matriz de revisión literaria. Para ello, se parte de reconocer que el consumo del aguacate en el mundo ha experimentado un crecimiento constante debido al valor de sus propiedades nutricionales y a sus beneficios para la salud (Segura, 2022). El desarrollo de sus procesos industriales genera como resultado una importante cantidad de subproductos de la piel y de la semilla, principalmente, que generan problemas económicos y ambientales cuando no son tratados de manera efectiva. Por estas razones, se ha venido profundizando la investigación sobre las diversas técnicas de extracción del aceite de aguacate, que permitan generar subproductos que puedan ser usados en diversos tipos de industrias, dentro de las cuales se destaca la farmacéutica, alimentaria y farmacéutica (Velázquez, 2019).

A través de la revisión de la literatura se ha podido observar que los subproductos del aguacate tienen una gran cantidad de compuestos bioactivos, Los subproductos del aguacate se establecen como una importante oportunidad para promover la sostenibilidad y rentabilidad de la industria del aguacate, lo cual implica reconocer los beneficios de los diversos procedimientos y técnicas de extracción implementadas. En el análisis que se ha planteado en la matriz se observa que, principalmente, en mucha de la literatura se utilizan técnicas de extracción como como el ultrasonido, extracción con solventes, extracción asistida por microondas y fluidos supercríticos. Se observa que los diversos métodos poseen diferentes ventajas y desventajas que es preciso apreciar y considerar a la hora de elegir uno de ellos. Por ejemplo, se destaca que el método de extracción por prensado no utiliza solventes que puedan quedar impregnados en el producto (Velázquez, 2019), pero genera un rendimiento muy bajo (Figueroa et al. 2018^a). De acuerdo con Melgar (2019), La extracción asistida por microondas genera un tiempo de extracción corto y altos rendimientos, pero puede alterar de forma significativa las propiedades fisicoquímicas debido a la radiación. La extracción por ultrasonido facilita la entrada del solvente debido a que genera una fractura en las paredes celulares, pero los equipos resultan ser muy costosos (Isaza, Jaramillo y Mora, 2021).

Por otro lado, se observa que el método soxhlet proporciona un rendimiento alto, y ayuda en la obtención de ácidos grasos (Segura, 2022); pero genera un alto consumo de agua, demanda largos periodos de tiempo y hay un riesgo importante de que se presenten explosiones

(Páramo et al. 2020). El método por fluidos supercríticos ayuda a mantener las características y propiedades del aceite, pero demanda instalaciones muy costosas (Neira et al. 2021). En cuanto a la agitación magnética, se observa que hace que el calentamiento sea uniforme, pero se dificulta el control de la temperatura (Melgar, 2019).

Se destaca, por otro lado, el uso de técnicas verdes o ecológicas por medio de la extracción acelerada por solventes, un proceso de extracción sólido-líquido que se lleva a cabo a altas temperaturas (50–200°C) y altas presiones (10–15Mpa). De acuerdo con autores como Tan et al (2018); Figueroa et al. (2018^a); y Páramo et al. (2020) sus principales ventajas sobre los métodos de extracción tradicionales son reducciones significativas en la cantidad de solvente utilizado y en el tiempo de extracción. Estas técnicas usan solventes como etanol, agua o sus mezclas, que son reconocidos como seguros o GRAS. En el estudio de Tan et al. (2018) se observa que mediante la extracción acelerada por solventes se obtienen rendimientos similares o superiores a la extracción por ultrasonido, Por su parte, Páramo et al. (2020) refieren que este método es mucho más sencillo y puede generar los mismos resultados en cuanto a eficiencia y rendimiento, que el caso de la extracción por microondas.

Se observa también que a adición de productos químicos puede reducir el valor nutricional del aceite o aumentar la presencia de residuos químicos en la comida (Segovia, Corral y Aljamaro, 2016). El método usado por Skenderidis et al (2021) a través del calentamiento con microondas, obtuvo un rendimiento mayor en un 67% cuando se compara con el método de extracción por solventes usado por Rojas et al. (2020). Además, los resultados mostraron que este procedimiento asistido con microondas preservó la forma de las células oleosas. Además, Tremocoldi et al (2018) expresan que al usar el calentamiento con microondas se genera un cambio en la estructura de las células, lo cual podría afectar positivamente la calidad y cantidad del aceite extraído.

Al elegir un tipo de solvente, se preciso tener en cuenta aspectos como la solubilidad del compuesto (Trujillo et al. 2021), el punto de ebullición (Rojas-García et al. 2022), además de factores como la disponibilidad, valor económico y reutilización (Rodríguez-Martínez, 2022). Por su parte, Zuñiga et al. (2018) destaca la importancia de elegir el solvente teniendo en cuenta aspectos como la polaridad, afinidad molecular entre el soluto y el solvente, la transferencia de masa y seguridad ambiental. Se destaca que el uso del solvente incide en el tipo de componentes fenólicos que se pueden extraer del aguacate, Por ejemplo, en la investigación de Ferreira y Santos (2022) se observa que el aceite de aguacate a través del

hexano contenía grandes cantidades de no triglicéridos componentes, como fosfolípidos y ceras. Por otro lado, como lo indican Tremocoldi et al (2018) al hacer uso de la acetona como solvente, se generan principalmente terpenoides, aldehídos y ácidos grasos de cadena corta.

También se destacan los aportes de Trujillo-Mayol et al. (2022), quienes expresan que al usar disolventes orgánicos a alta temperatura durante la extracción se puede generar la oxidación y deterioro de los ácidos grasos poliinsaturados. Además, la extracción de aceite a altas temperaturas puede causar como resultado la destrucción de los compuestos bioactivos. En cuanto a la técnica de ultrasonido, se observa que está asociada ventajas como mezclas más efectivas, transferencia de energía rápida y respuesta rápida para el control de procesos. Cabe tener en cuenta que el ultrasonido se puede usar de forma complementaria con otras técnicas, para mejorar la eficiencia del proceso. De acuerdo con Ong et al (2022), cuando se usa el ultrasonido antes de aplicar solventes, es posible aumentar el rendimiento y reducir el tiempo de extracción de aceite.

En cuanto a métodos biológicos a través del uso de enzimas, se observa que permiten hidrolizar los polisacáridos estructurales de la pared celular. Estos métodos se asocian a un buen ahorro de energía y buenos rendimientos (Rodríguez-Martínez, 2022). No obstante, es posible que el subproducto se deteriore debido a largos tiempos de tratamiento, hidrólisis y emulsión de aceite. Se destaca también el método soxhlet como uno de los que más se utilizan para separar compuestos en una mezcla sólido-líquida, a través de un proceso que implica aplicar calor y usar un solvente orgánico que sea similar a los componentes del material vegetal, logrando que las grasas se separen del resto de los componentes. Para este proceso, se hace uso de herramientas como un condensador, un extractor y un matraz. Se reconoce, entonces, la eficiencia de este método pues arroja buenos rendimientos y ayuda a conservar propiedades del aguacate en el aceite extraído, generando compuestos como terpenoides y compuestos fenólicos de buena calidad. Por otro lado, es un equipo de sencilla configuración, práctico y económico.

En síntesis, a la hora de elegir un método de extracción se deben tener en cuenta factores como el rendimiento, la disminución del uso de químicos sintéticos y orgánicos, la eficiencia y la eficacia de la extracción disponible (Trujillo-Mayol et al. 2022). El uso de cada método genera características diferentes en cuanto al tipo de compuestos fenólicos y actividad antioxidante para cada subproducto del aguacate, por lo cual es importante analizar con detalle cada variable, y tener en cuenta el uso comercial del aceite que se produce. Finalmente, en

cuanto a diferencias importantes en los subproductos del aguacate, se puede decir con Resero et al. (2019) que tanto la piel como las semillas presentan importantes contenidos fenólicos, pero tienen diferentes tipos de ácido y valores de yodo. En particular, la gran diferencia entre los aceites de las semillas y la piel se encuentra en sus composiciones de ácidos grasos insaturados, razón por la cual es importante elegir bien el subproducto con el que se va a trabajar para de esta manera orientar procesos efectivos de extracción.

Conclusiones

En la presente revisión se planteó como objetivo analizar los procesos y técnicas de extracción reportadas en la literatura para la obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de aguacate como potencial fuente de ingredientes funcionales. Al realizar una revisión en la literatura que permita identificar los diversos procesos y técnicas de extracción y tratamiento para la obtención de bioactivos partir de subproductos de aguacate, se observa que en la literatura se usan diversos tipos de técnicas de extracción, cuya elección depende de la variedad de aguacate que se trate, del tipo de experimento y de las cualidades que se quieren evaluar. Se destacan técnicas como ultrasonido, liofilización, molienda, extracción mecánica, extracción acelerada por solventes, extracción acuosa asistida por ultrasonido, método soxhlet, agitación magnética, extracción por microondas, extracción líquida a presión y cromatografía.

Posteriormente, al comparar las diferentes técnicas de extracción y tratamiento de los subproductos del aguacate mediante un análisis de los procedimientos, recursos y enfoques utilizados, con el fin de identificar las opciones más funcionales y eficientes, se observa que cada uno de los métodos se asocia con el desarrollo de procedimiento que tratan de diversas maneras la materia prima, en este caso, la piel, semilla o pulpa del aguacate. Por ejemplo, los métodos que se enfocan en la extracción por prensado hacen uso de la fuerza mecánica como medio para extraer polifenoles y grasas ubicadas en las cáscaras y las semillas. Por otro lado, la destilación ayuda a que los aceites se disuelvan de las células vegetales, produciendo como resulta vapores que se condensan. Se observa también en la literatura que al usar el método de arrastre de vapor se generan bajos rendimientos.

Los resultados de la revisión de literatura no permiten afirmar que sea el mejor método de extracción y que se deba usar siempre. Por el contrario, lo que se puede afirmar es que no hay un método de extracción que sea mejor que todos los demás, pues su elección depende de aspectos como la variedad del aguacate, su grado de maduración, el tratamiento que se ha hecho del fruto durante la postcosecha, o el tipo de análisis que se quieren desarrollar con el aceite. La técnica de extracción también dependerá de si se quiere conservar la capacidad antioxidante o las características fisicoquímicas, o si lo que quiere es mejorar rendimiento de la extracción. También se debe tener en cuenta el tipo de subproducto que se quiere generar, ya sea para el cuidado de la piel o el cabello, o para el sector alimentario o farmacéutico.

Referencias

- Álvarez, E., Reyes, D., y López, D. (2019). Influencia de la Modificación de Hábitos Alimenticios con la Inclusión de Aceite de Aguacate Sobre el Control Glucémico de Pacientes Diabéticos en Tinajas, Colima, México. *Archivos de medicina*, 15(3), 1- 12-34.
- Ashton, O. B. O., Wong, M., McGhie, T. K., Vather, R., Wang, Y., Requejo-Jackman, C., Ramankutty, P., & Woolf, A. B (2006). Pigments in avocado tissue and oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 10151–10158.
- Asproagricol. (2013). Cartilla de procesos productivos del cultivo de aguacate en la asociación asproagricol de Guarne. [En línea]. Disponible en: [Cartilla-aguacate-2.pdf](#) (ccoa.org.co)
- Barrera-López, R.E.; Arrubla-Vélez, J.P. (2017). Análisis de Fitoesteroles en la Semilla de Persea americana Miller (var. Lorena) por Cromatografía de Gases y Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia. *Rev. Fac. Cienc. Básicas*, 13, 35–41.
- Bressani, R., Rodas, B. y Ruiz, A. S. (2009). La composición química, capacidad antioxidativa y valor nutritivo de la semilla de variedades de aguacate. Tegucigalpa (Guatemala): Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología-FONACYT, Universidad del Valle de Guatemala-UVG.
- Calderón-Oliver, M., Escalona-Buendía, H. B., Medina-Campos, O. N., Pedraza-Chaverri, J., Pedroza-Islas, R., & Ponce-Alquicira, E. (2016). Optimization of the antioxidant and antimicrobial response of the combined effect of nisin and avocado byproducts. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 46–52.
- Ceballos, A., y Montoya, S (2013). Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 103–112.
- Contreras, A., y Barajas, E. (2021). Aprovechamiento de residuos de aguacate generados en centro abastos de Bucaramanga para la producción de aceites esenciales. Universidad

Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Ingeniería Ambiental.

Delgado GE, Kramer B, Lorkowski S, Marz W, Von Schacky C, Kleber ME. (2017). Individual omega-9 monounsaturated fatty acids and mortality—The Ludwigshafen Risk and Cardiovascular Health Study. *J Clin Lipidol* 11, 126-35.

Dreher, M., y Davenport, A. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Food Sci*, 53, 738-750.

Espinosa-Alonso, L.G.; Paredes-López, O.; Valdez-Morales, M.; Oomah, B.D. (2017). Avocado oil characteristics of Mexican creole genotypes. *Eur. J. Lipid Sci. Technol*, 4(33), 119-122-

Ferreria, L., y Santos, D. (2022). From by-product to functional ingredient: Incorporation of avocado peel extract as an antioxidant and antibacterial agent. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 80, 103-116.

Field JJ, Kanakkanthara A, Brooke DG, Sinha S, Pillai SD, Denny WA, et al. (2016). Microtubule-stabilizing properties of the avocado-derived toxins (+)-(R)-persin and (+)-(R)-tetrahydropersin in cancer cells and activity of related synthetic analogs. *Invest New Drugs*; 34, 277-289.

Figueroa et al. (2018). Comprehensive identification of bioactive compounds of avocado peel by liquid chromatography coupled to ultra-high-definition accurate-mass Q-TOF. *Food Chemistry*, 245(15), 22-45.

Figueroa et al. (2018). Optimization of drying process and pressurized liquid extraction for recovery of bioactive compounds from avocado peel by-product. *Electrophoresis*, 7(2), 33-56.

Figueroa et al. (2021). Functional ingredient from avocado peel: Microwave-assisted extraction, characterization and potential applications for the food industry. *Food Chemistry* 352, 22-45.

- Figuerola, A., Borrás, M., Lozano y Segura, D. (2018). Comprehensive characterization of phenolic and other polar compounds in the seed and seed coat of avocado by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS. *Food Research International*, 105, 753-763.
- Finagro (2021). Ficha de inteligencia: aguacate. [En línea]. Disponible en: AGUACATE_julio_2018 (finagro.com.co)
- Fitriani, A., Setiati, S., y Herawati, S. (2017). Triterpenoid of avocado (*Persea americana*) seed and its cytotoxic activity toward breast MCF-7 and liver HepG2 cancer cells. *Asian Pac J Trop Biomed*, 7, 397-400
- Flores, S. Saravia, S., Vergara, T., Ávila, D., Valdés, D., y Ortíz, S. (2019). Avocado Oil: Characteristics, Properties, and Applications. *Avocado Oil: Characteristics, Properties, and Applications*
- Forero, F., García, J., Cárdenas., J (2007). situación y avances en la poscosecha y procesamiento del aguacate (*Persea americana* Mill).
- Isaza, D., Jaramillo, M., y Mora, L.. (2021). Actividad antioxidante en subproductos de mora y aguacate: identificación preliminar de su potencial en el desarrollo de ingredientes con aplicaciones industriales. Universidad de Los Andes.
- López, D. (2017). Caracterización de compuestos bioactivos en productos y subproductos vegetales mediante técnicas cromatográficas acopladas a espectrometría de masas. Universidad de Granada. Tesis Doctoral.
- Márquez-Ramírez, C.; Hernández de la Paz, J.; Ortiz-Avila, O.; Raya-Farias, A.; González-Hernández, J.; Rodríguez-Orozco, A.; Salgado-Garciglia, R.; Saavedra-Molina, A.; Godínez-Hernández, D.; Cortés-Rojo, C. (2018). Comparative effects of avocado oil and losartan on blood pressure, renal vascular function, and mitochondrial oxidative stress in hypertensive rats. *Nutrition*, 54, 60–67.
- Melgar et al. (2018). Bioactive characterization of *Persea americana* Mill. by-products: A rich source of inherent antioxidants. *Industrial Crops and Products* 65, 102-118.

- Melgar, B. (2019). Aprovechamiento de subproductos de cultivos de higo chumbo (*Opuntia ficus-indica* L.) Y AGUACATE (*Persea americana*). Universidad politécnica de Valencia. Tesis doctoral.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). El aguacate Hass colombiano se mantiene como protagonista en el Súper Bowl, el más grande evento deportivo de Estados Unidos. [En línea]. Disponible en: El aguacate Hass colombiano se mantiene como protagonista en el Súper Bowl, el más grande evento deportivo de Estados Unidos - #EsConHechos (minagricultura.gov.co)
- Minsiterio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021). Cadena productiva Aguacate. Primer trimestres del 2020. [En línea]. Disponible en: Presentación de PowerPoint (minagricultura.gov.co)
- Mirabal et al. (2021). Characterization of five Chilean agribusiness by-products and their potential use as food supplements. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 33(7), 607-612.
- Monsalve Valderrama, C. Y., y Ramos García, Y. L. (2019). Estudio de pre-factibilidad en la cadena productiva del aguacate para aprovechamiento de residuos del fruto en la industria cosmética. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(5), 55.
- Moreno, A., Dorantes, L., Galíndez J., y Guzmán, R. (2012). Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil. *J Agric Food Chem.* 2003; 51, 2216-2221.
- Neira et al. (2021). Estudio del efecto de la variedad y condiciones de extracción de aceite de Aguacate (*Persea Americana*) con fines alimenticios en Ecuador. *Nutr Clín Diet Hosp.* 2021; 41(2),94-98.
- Nicolella, H.D.; Neto, F.R.; Corrêa, M.B.; Lopes, D.H.; Rondon, E.N.; Dos Santos, L.F.; De Oliveira, P.F.; Damasceno, J.L.; Acésio, N.O.; Turatti, I.C.; et al. (2017). Toxicogenetic study of *Persea americana* fruit pulp oil and its effect on genomic instability. *Food Chem. Toxicol*, 101, 114–120.

- Ong et al. (2022). Valorization of avocado seeds with antioxidant capacity using pressurized hot water extraction. *Scientific Reports*, 12, 13-44.
- Ortiz O, Figueroa MD, García CI, Calderón E, Mejía JA, Rodríguez AR, et al. (2017). Avocado oil induces long-term alleviation of oxidative damage in kidney mitochondria from type 2 diabetic rats by improving glutathione status. *J Bioenerg Biomembr*, 49, 205-214.
- Ortiz-Avila, O.; Gallegos-Corona, M.; Sánchez-Briones, L.; Calderón-Cortés, E.; Montoya-Pérez, R.; Rodríguez-Orozco, A.; Campos-García, J.; Saavedra-Molina, A.; Mejía-Zepeda, R.; Cortés-Rojo, C. (2015). Protective effects of dietary avocado oil on impaired electron transport chain function and exacerbated oxidative stress in liver mitochondria from diabetic rats. *J. Bioenerg. Biomembr*, 47, 337–353.
- Ozdemir., y Topuz, A. (2004). Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chem*, 86, 79-83.
- Paramos, P., Granjo, J. F. O., Corazza, M. L., & Matos, H. A. (2020). Extraction of high value products from avocado waste biomass. *The Journal of Supercritical Fluids*, 165
- Paramos, S. Granja, Corazzo, S., y Matos, O. (2020). Extraction of high value products from avocado. waste biomass *The Journal of Supercritical Fluids*, 165(1), 22-45.
- Pérez, R., Villanueva, S., Cosío, R. (2005). El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. *e-Gnosis*, 4(3), 44-67.
- Qin, X., y Zhong, J. (2016). A review of extraction techniques for avocado oil. *J. Oleo Sci*, 65, 881-888.
- Ramos Athaydes, B., Alves, G. M., Assis, A. L. E. M. de, Gomes, J. V. D., Rodrigues, R. P., Campagnaro, B. P., ... Gonçalves, R. de C. R. (2019). Avocado seeds (Persea americana Mill.) prevents indomethacin-induced gastric ulcer in mice. *Food Research International*, 119, 751–760
- Reddy, M., Moodley, R., y Jonnalagadda, S. (2018). Fatty acid profile and elemental content of avocado (Persea americana Mill.) oil-effect of extraction methods. *J Environ Sci Health B*, 47, 529-537.

- Rincón, M. (2021). Proceso de producción del aguacate hass en Colombia y sus impactos en la distribución física internacional. Especialización En Gerencia Logística Integral. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería
- Ríos, D. (2013). Variedades de aguacate para el trópico: caso Colombia. Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate) pp. 143-14.
- Rodríguez-Carpena, J. G., Morcuende, D., Andrade, M. J., Kylli, P. y Estévez, M. (2011a). Avocado (*Persea americana* Mill.) phenolics, in vitro antioxidant and antimicrobial activities, and inhibition of lipid and protein oxidation in porcine patties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10), 5625-5635
- Rodríguez-Martínez, B.; Ferreira-Santos, P.; Alfonso, I.M.; Martínez, S.; Genisheva, Z.; Gullón, B. (2022). Deep Eutectic Solvents as a Green Tool for the Extraction of Bioactive Phenolic Compounds from Avocado Peels. *Molecules*, 27, 6646.
- Rodríguez-Martínez, B.; Ferreira-Santos, P.; Gullón, B.; Teixeira, J.A.; Botelho, C.M.; Yáñez, R. Exploiting the Potential of Bioactive Molecules Extracted by Ultrasounds from Avocado Peels. Food and Nutraceutical Applications. *Antioxidants* 10, 1475.
- Rojas-García, A.; Fuentes, E.; Cádiz-Gurrea, M.d.l.L.; Rodriguez, L.; Villegas-Aguilar, M.d.C.; Palomo, I.; Arráez-Román, D.; Segura-Carretero, A. (2022). Biological Evaluation of Avocado Residues as a Potential Source of Bioactive Compounds. *Antioxidants*, 11, 1049
- Rosero, J. C., Cruz, S., Osorio, C., & Hurtado, N. (2019). Analysis of Phenolic composition of byproducts (seeds and peels) of avocado (*Persea americana* Mill.) cultivated in Colombia. *Molecules*, 24(17)
- Sacks FM, Lichtenstein AH, Wu JHY, Appel LJ, Creager MA, Kris-Etherton PM, et al. (2017). Dietary Fats and Cardiovascular Disease: A Presidential Advisory From the American Heart Association. *Circulation*; 136, 1-23.
- Sánchez; D., Campos, S., y Loarca, S. (2021). Prediction of the Physicochemical and Nutraceutical Characteristics of 'Hass' Avocado Seeds by Correlating the Physicochemical Avocado Fruit Properties According to Their Ripening State. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76, 311-318.

- Schwingshackl L, Hoffmann G. (2014). Monounsaturated fatty acids, olive oil and health status: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Lipids Health Dis*, 13, 154.
- Segovia, A., Corral, D., y Aljama, S. (2016). Avocado seed: Modeling extraction of bioactive compounds. *Industrial Crops and Products* 85, 213-220.
- Segura, J. (2022). Diseño para la obtención de aceite esencial con base al aprovechamiento de la semilla del aguacate utilizando diferentes especies. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química
- Serpa et al. (2014). Extracción de aceite de aguacate variedad “Hass” (*Persea americana* Mill) liofilizado por prensado en frío. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 8(2), 118-128.
- Siatoya, E., y Arce, S. (2019). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Ingeniería Ambiental.
- Skenderidis, P.; Leontopoulos, S.; Petrotos, K.; Giavasis, I. (2021). Vacuum Microwave-Assisted Aqueous Extraction of Polyphenolic Compounds from Avocado (*Persea Americana*) Solid Waste. *Sustainability* 13, 2166.
- Tan et al. (2018). El CO₂ subcrítico es una técnica de extracción de aceite prometedora para obtener aceite de aguacate sin disolventes con usos potenciales en alimentos funcionales y productos para el cuidado de la salud. *European Journal of Lipid Science And Technology*, 10(8), 33-45.
- Tremocoldi, M. A., Rosalen, P. L., Franchin, M., Daiuto, R., Augusto, J., Massarioli, P., ... De Alencar, S. M. (2018). Exploration of avocado by-products as natural sources of bioactive compounds. *PLoS ONE*, 4, 1–12.
- Trujillo et al. (2021). Incorporation of avocado peel extract to reduce cooking-induced hazards in beef and soy burgers: A clean label ingredient. *Food Research International* 147, 33-44.

- Trujillo-Mayol et al. (2022). In vitro gastric bioaccessibility of avocado peel extract in beef and soy-based burgers and its impact on *Helicobacter pylori* risk factors. *Food Chemistry*, 322, 12-23.
- USDA (201). Avocados, raw, all commercial varieties- [En línea]. Disponible en: FoodData Central (usda.gov)
- Velázquez, J. (2019). Compuestos bioactivos y potencial pigmentante de extractos de epicarpio de frutos de aguacate "Hass". Universidad Autónoma Chapingo. Tesis de Maestría.
- Vivero, A., Valenzuela, S., Valenzuela, D., y Morales, D. (2019). Palta: compuestos bioactivos y sus potenciales beneficios en salud. *Rev. chil. Nutr*, 46(4), 33-45.
- Werman MJ, Neeman I. (2015). Avocado oil production and chemical characteristics. *J Am Oil Chem Soc*, 64, 229-232.
- Yamasaki, F., Campestrini, L., Zawadzki-Baggio, F., y Baron, F. (2017) Avocado leaves: Influence of drying process, thermal incubation, and storage conditions on preservation of polyphenolic compounds and antioxidant activity. *International Journal of Food Properties*, 20(2), 33-45.
- Zúñiga et al. (2021). Avocado paste from industrial byproducts as an unconventional source of bioactive compounds: characterization, in vitro digestion and in silico interactions of its main phenolics with cholesterol. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 5460–5476.