

Universidad Autónoma De Querétaro

Facultad de Ciencias Químicas

Maestría en Ciencia y Tecnología en Alimentos

**“Caracterización de la fibra de cáscara de aguacate
(*Persea americana* Mill.) ‘Hass’ y su aplicación como
ingrediente nutracéutico en la elaboración de “*hot cakes*”
libres de gluten”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestro en Ciencia y
Tecnología de Alimentos

Presenta:

L.C.F. Lorraine Salgado León

Dirigida por:

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Centro Universitario, Querétaro, Qro. México

26 de noviembre de 2024

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



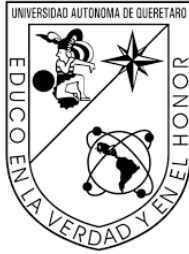
SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma De Querétaro

Facultad de Ciencias Químicas

Maestría en Ciencia y Tecnología en Alimentos

**“Caracterización de la fibra de cáscara de aguacate
(*Persea americana* Mill.) ‘Hass’ y su aplicación como
ingrediente nutracéutico en la elaboración de “*hot cakes*”
libres de gluten”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de

Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

L.C.F. Lorraine Salgado León

Dirigida por:

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Presidente

Dra. Marcela Gaytán Martínez

Secretaria

Dra. Rosalía Reynoso Camacho

Vocal

Dr. Iván Luzardo Ocampo

Suplente

Dra. Vanessa Sánchez Quezada

Suplente

*Dedicada a mi familia, amigos y
a México*

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por el apoyo económico brindado durante todo este proyecto.

A la Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña, por todo el apoyo, su guía profesional y personal, su talento científico y sus miles de anécdotas.

A mis sinodales Dra. Marcela Gaytán Martínez, Dra. Rosalía Reynoso Camacho, Dra. Vanessa Sánchez Quezada y Dr. Iván Luzardo Ocampo por todo su conocimiento científico puesto a disposición de este trabajo, su impulso y enseñanzas. Su trabajo resulta increíblemente inspirador.

A mis compañeros de laboratorio, por las largas sesiones de chismecito, café y pan dulce.

A todos mis compañeros de generación por darme la bienvenida a este maravilloso país.

A Yarlenis Coello Delgado, por ser la hermana que no esperé conocer en este viaje.

A mis padres y hermanos que me estuvieron apoyando todo el tiempo desde la distancia.

A mi increíble esposo por todo su amor y apoyo incondicional.

RESUMEN

México cosecha más del 30% del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass' a nivel mundial, siendo su principal productor y exportador. Tanto la pulpa como sus subproductos (cáscara y semilla) presentan propiedades nutricionales y compuestos bioactivos como fibra dietaria (FD) y compuestos fenólicos, posicionándolo como un alimento de elevada calidad nutritiva. Por lo tanto, la valorización de sus subproductos permitiría reducir los problemas ambientales asociados al desecho de los mismos favoreciendo el establecimiento de una economía circular. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la FD de la cáscara de aguacate 'Hass' para su aplicación en “*hot cakes*” libres de gluten. Para ello, se extrajo la FD mediante dos métodos: alcalino (MA) y asistido por ultrasonidos (MU). Los rendimientos de ambas extracciones presentaron diferencia no significativa de 1.34 % (MA 81.29 % y MU 82.40 %, respectivamente). Sin embargo, se encontraron diferencias ($p < 0.05$) en la composición fitoquímica como compuestos fenólicos totales (CFT) y en la capacidad antioxidante siendo MU significativamente superior (CFT: 58.68 mg EAG/g y DPPH: 267.11 μ moles ETrolox). Para las propiedades tecno-funcionales se observaron valores inferiores ($p < 0.05$) para la fibra dietaria obtenida por MA a comparación de la fibra obtenida por MU (capacidad de retención de agua y aceite 20.2 % y 44.27 % inferiores, respectivamente). Por lo que se seleccionó MU como método para obtener DF con propiedades antioxidantes, siendo las mejores condiciones disolvente 1:40, amplitud del 20 % y tiempo de 40 minutos. Se formularon cuatro harinas de “*hot cakes*” libres de gluten empleando un diseño unifactorial en 5 niveles de la FD con propiedades antioxidantes, presentando propiedades físicas, químicas y tecno-funcionales adecuadas y sin diferencias estadísticas entre ellas. Finalmente, los “*hot cakes*” adicionados en FD presentaron un perfil de textura y una aceptación sensorial similar al control sin adicionar FD por lo que se sugiere el empleo de la adicionada en 4 g por porción. Los resultados sugieren que la FD con propiedades antioxidantes extraída de la cáscara de aguacate 'Hass' puede ser utilizados como ingrediente bioactivo contribuyendo a la revalorización de los

subproductos del aguacate mediante la obtención de productos alimenticios de alto consumo con un alto valor agregado.

ABSTRACT

Mexico harvests more than 30% of the avocado (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass' worldwide, being its main producer and exporter. Both the pulp and its by-products (peel and seed) have nutritional properties and bioactive compounds such as dietary fiber (DF) and phenolic compounds, positioning it as a food of high nutritional quality. Therefore, the valorization of its by-products would reduce the environmental problems associated with their disposal, favoring the establishment of a circular economy. The objective of this work was to characterize the DF of 'Hass' avocado peel for its application in gluten-free hot cakes. For this purpose, DF was extracted by two methods: alkaline (AM) and ultrasound-assisted (UM). The yields of both extractions presented a non-significant difference of 1.34 % (AM 81.29 % and UM 82.40 %, respectively). However, differences ($p < 0.05$) were found in phytochemical composition as total phenolic compounds (TPC) and in antioxidant capacity with UM being significantly superior (TPC: 58.68 mg EAG/g and DPPH: 267.11 μ moles ETrolox). For techno-functional properties, lower values ($p < 0.05$) were observed for dietary fiber obtained by AM compared to fiber obtained by UM (water and oil holding capacity 20.2 % and 44.27 % lower, respectively). Therefore, UM was selected as the method to obtain DF with antioxidant properties, the best conditions being solvent 1:40, amplitude of 20 % and time of 40 minutes. Four gluten-free hot cake flours were formulated using a unifactorial design in 5 levels of DF with antioxidant properties, presenting adequate physical, chemical and techno-functional properties and without statistical differences among them. Finally, the "hot cakes" with added DF presented a texture profile and sensory acceptance similar to the control without added FD, suggesting the use of the added DF at 4 g per serving. The results suggest that FD with antioxidant properties extracted from 'Hass' avocado peel can be used as a bioactive ingredient contributing to the revaluation of avocado by-products by obtaining high consumption food products with high added value.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE TABLAS	xii
INDICE FIGURAS	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	3
II.1. Generalidades del fruto del aguacate	3
II.1.1. Aguacate variedad ‘Hass’	3
II.1.1.1. Morfología del aguacate cv. ‘Hass’	4
II.1.2. Usos del aguacate ‘Hass’ y generación de desechos.....	5
II.2. Producción y consumo de aguacate	6
II.2.1. Producción mundial	6
II.2.2. Producción de aguacate en México	7
II.3. Composición nutrimental del aguacate ‘Hass’	7
II.3.1. Cáscara	8
II.4. Perfil fitoquímico de cáscara de aguacate cv. ‘Hass’	8
II.5. Pigmentos presentes en la cáscara de aguacate cv. ‘Hass’	10
II.5.1. Antocianinas	10
II.6. Bioactividad de extractos obtenidos a partir de residuos de aguacate.....	11
II.6.1. Actividad antioxidante	11
II.7. Toxicidad de la cáscara de aguacate.....	13
II.10. Fibra.....	13
II.10.1. Generalidades.....	13
II.10.2. Fibra dietaria antioxidante.....	14

II.10.3. Fibra en la cáscara de aguacate ‘Hass’	14
II.11. Enfermedades asociadas a la ingesta de gluten	15
II.11.1. Generalidades.....	15
II.11.2. Prevalencia mundial.....	16
II.11.3. Prevalencia en México	16
II.14. Alimentos libres de gluten	17
II.15. Desarrollo de “ <i>hot cakes</i> ” libres de gluten	17
III. JUSTIFICACIÓN	19
IV. OBJETIVOS	20
IV.1. Objetivo general.....	20
IV.2. Objetivos específicos.....	20
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
V.1. Materiales	20
V.1.1. Material Vegetal.....	20
V.1.2. Reactivos.....	21
V.2. Metodología.....	21
V.2.1. Obtención de fibra dietaria a partir de cáscara de aguacate ‘Hass’	21
V.2.1.1. Tratamiento alcalino	21
V.2.1.2. Tratamiento asistido por ultrasonidos de alta frecuencia	22
V.2.3. Determinación del rendimiento de concentrado de fibra obtenido.....	23
V.2.3. Obtención de extractos etanólico de fibra dietaria.....	23
V.2.3.1. Compuestos fenólicos libres	23
V.2.4. Determinación de compuestos bioactivos asociados a la fibra de cáscara de aguacate cv. ‘Hass’.....	23
V.2.4.1. Determinación de compuestos fenólicos totales (CFT).....	23

V.2.4.2. Determinación de flavonoides totales libres	24
V.2.4.3. Determinación de taninos condensados libres	24
V.2.4.4. Determinación de saponinas totales	24
V.2.5. Determinación de capacidad antioxidante de la fibra de cáscara de aguacate cv. 'Hass'	25
V.2.5.1. Método DPPH	25
V.2.5.2. Método ABTS	26
V.2.5.3. Método FRAP	26
V.2.6 Caracterización tecno-funcional de la fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass'	27
V.2.6.1. Capacidad de retención de agua	27
V.2.6.2. Capacidad de retención de aceite	27
V.2.6.3. Capacidad de adsorción de glucosa	28
V.2.7. Elaboración de harinas para "hot cakes" libres de gluten y adicionadas en fibra de cáscara de aguacate cv. 'Hass'	28
V.2.8. Caracterización química de las harinas para "hot cakes" libres de gluten adicionados con fibra de cáscara de aguacate cv. 'Hass'	29
V.2.8.1. Determinación de humedad	29
V.2.8.2. Determinación de proteínas	30
V.2.8.3. Determinación de lípidos	30
V.2.8.4. Determinación de cenizas	31
V.2.8.5. Determinación de Carbohidratos	32
V.2.8.6. Determinación de fibra total dietaria	32
V.2.8.6.1. Fibra dietaria insoluble	32
V.2.8.6.2. Fibra dietaria soluble	33
V.2.9. Distribución del tamaño de partícula	33

V.2.10. Determinación de la capacidad de absorción de agua y de aceite.....	33
V.2.11. Análisis microbiológico	33
V.2.12. Elaboración de “ <i>hot cakes</i> ” a partir de la harina formulada	34
V.2.13. Determinación de las propiedades físicas de los “ <i>hot cakes</i> ” libres de gluten adicionados con fibra de cáscara de aguacate cv. ‘Hass’	34
V.2.13.1. Determinación de dimensiones y el peso de los “ <i>hot cakes</i> ”.....	34
V.2.13.2. Volumen específico	35
V.2.13.3. Análisis de perfil de textura (TPA).....	35
V.2.14. Análisis sensorial.....	36
V.2.15. Análisis estadístico	37
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
VI.1. Caracterización química de las cáscaras de aguacate ‘Hass’	38
VI.2. Composición fitoquímica y capacidad antioxidante de cáscara de aguacate ‘Hass’ en diferentes estados de madurez	40
VI.2.1. Compuestos bioactivos	40
VI.2.1.1. Compuestos fenólicos	40
VI.2.1.2. Saponinas totales.....	43
VI.2.2. Capacidad antioxidante	44
VI.3. Obtención de fibra dietaria de cáscara de aguacate ‘Hass’	46
VI.3.1. Tratamiento alcalino	47
VI.3.1.1. Rendimiento de fibra dietaria y compuestos bioactivos asociados...	47
VI.3.1.2. Capacidad antioxidante	49
VI.3.2. Tratamiento ultrasónico	51
VI.3.2.1. Rendimiento de fibra dietaria y compuestos bioactivos asociados...	52
VI.3.2.2. Capacidad antioxidante	54
VI.3.3. Composición de saponinas.....	56

VI.3.4. Composición química de fibra dietaria de cáscara de aguacate ‘Hass’ ..	57
VI.3.5. Propiedades tecno-funcionales.....	58
VI.3.6. Efecto de los métodos de extracción en las propiedades fitoquímicas y tecno-funcionales de la fibra dietaria de cáscara de aguacate ‘Hass’	62
VI.3.7. Harinas para “ <i>hot cakes</i> ” libres de gluten adicionadas en fibra dietaria de cáscara de aguacate ‘Hass’	63
VI.3.7.1. Composición química	63
VI.3.7.2. Propiedades tecno-funcionales de las harinas para “ <i>hot cakes</i> ” adicionadas en fibra dietaria de cáscara de aguacate ‘Hass’	65
VI.3.7.2. Distribución del tamaño de partículas.....	66
VI.3.7. Análisis microbiológico	68
VI.3.8. Desarrollo de “ <i>hot cakes</i> ” libres de gluten adicionados en fibra de cáscara de aguacate ‘Hass’.....	68
VI.3.8.1. Caracterización física	68
VI.3.8.2. Perfil de Textura	69
VI.3.8.3. Análisis Sensorial	70
VII. CONCLUSIONES.....	74
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	75
IX. ANEXOS	95

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Producción y área dedicada al cultivo del aguacate cv. 'Hass' a nivel mundial (2018-2021)	6
Tabla 2. Principales ingredientes empleados en la formulación de "hot cakes" y su función.....	18
Tabla 3. Diseño experimental de extracción alcalina de fibra dietaria.	21
Tabla 4. Diseño experimental de extracción de fibra dietaria asistida por ultrasonidos de alta frecuencia.....	22
Tabla 5. Formulaciones de harinas para "hot cakes" adicionadas en fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass'.....	28
Tabla 6. Composición química de la cáscara de aguacate 'Hass' en diferentes estados de madurez.....	38
Tabla 7. Composición fitoquímica de la cáscara de aguacate 'Hass' en diferentes estados de madurez.....	41
Tabla 8. Concentración de saponinas presentes en la cáscara de aguacate 'Hass' en diferentes estados de madurez	44
Tabla 9. Capacidad antioxidante de cáscara de aguacate en diferentes estados de madurez	45
Tabla 10. Coeficientes de correlación entre los compuestos fitoquímicos y la capacidad antioxidante de la cáscara de aguacate 'Hass'	46
Tabla 11. Rendimiento de fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass' obtenida por tratamiento alcalino.	47
Tabla 12. Capacidad antioxidante de fibras dietarias alcalinas obtenidas bajo diferentes condiciones.....	50
Tabla 13. Rendimiento de la fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass' obtenida por tratamiento ultrasónico.....	52
Tabla 14. Composición fitoquímica de fibras dietarias obtenidas por método asistido por ultrasonidos.....	53
Tabla 15. Capacidades antioxidantes de las fibras dietarias obtenidas por el método asistido por ultrasonido.....	55

Tabla 16. Composición de saponinas en concentrados de fibra obtenidos por los tratamientos alcalino y asistido por ultrasonido.....	56
Tabla 17. Composición química de la fibra dietarias de cáscara de aguacate 'Hass'	57
Tabla 18. Propiedades tecno-funcionales de fibras dietarias obtenidas a partir de cáscara de aguacate 'Hass'.....	59
Tabla 19. Composición química de las harinas para "hot cakes" adicionados con diferentes concentraciones de fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass'	64
Tabla 20. Propiedades tecno-funcionales de harinas para “hot cakes” libres de gluten y adicionados con diferentes concentraciones de fibra de cáscara de aguacate 'Hass'	65
Tabla 21. Masa de harina para “hot cakes” retenida en los diferentes tamaños de partícula.....	66
Tabla 22 Resultados microbiológicos de las harinas para “hot cakes” libres de gluten adicionadas en fibra de cáscara de aguacate 'Hass'.....	68
Tabla 23. Parámetros físicos de los "hot cakes" adicionados en fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass' formulados	69
Tabla 24. Perfil de textura de los “hot cakes” obtenidos	70

INDICE FIGURAS

Figura 1. Fruto del aguacate ‘Hass’	4
Figura 2. Producción de aguacate en México (2014-2021) (FAOSTAT 2023).	7
Figura 3. Estructura de 3-O-glucósido de cianidina (Escobar, 2022).	11
Figura 4. Composición fitoquímica de la fibra dietaria obtenida por el tratamiento alcalino.	49
Figura 5. Proyección de las diferentes variables estudiadas en el Primer y Segundo componente.	63
Figura 6. Distribución del tamaño de partículas de las harinas para "hot cakes" formuladas.....	67
Figura 7. Aspecto general de los “hot cakes” adicionados en fibra de cáscara de aguacate ‘Hass’ y control evaluados en la prueba sensorial.....	72
Figura 8. Resultados de la evaluación sensorial de los "hot cakes" adicionados en fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass'	73

Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras.

Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lorraine Salgado León', written in a cursive style.

Lorraine Salgado León

I. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass' es una fruta climatérica cuyo origen se encuentra en América siendo México uno de sus mayores consumidores en los últimos años. Esta fruta posee gran reconocimiento a nivel mundial por su valor nutritivo y concentración de compuestos bioactivos, dentro de los cuales se encuentran vitamina E, ácido ascórbico, ácidos grasos poli insaturados, fibra dietética, carotenoides, compuestos fenólicos, saponinas y fitoesteroles, entre otros.

En los últimos años, la producción, exportación y consumo de aguacate a nivel mundial han tenido un aumento sostenido. Particularmente, México se sitúa en los primeros lugares a nivel mundial. En 2021 el volumen de producción de aguacate en México alcanzó los 2.44 millones de toneladas métricas, lo que significó un aumento de aproximadamente 50 000 toneladas con respecto al año anterior, aportando el estado de Michoacán el 75 % de estas. Además, México es uno de sus mayores consumidores, llegando a un consumo per cápita de 11 kg en 2022 según cifras de STATISTA (2024), lo cual representó un incremento de 2.5 kg respecto al año anterior. El procesamiento industrial de la pulpa del aguacate para la obtención de productos como guacamole, pulpa y aceite, genera grandes cantidades de semillas y cáscaras como principales deshechos. La cáscara de aguacate representa hasta un 13 % del peso total del fruto y la semilla hasta un 18 %, representando hasta un 31 % del peso del fruto los residuos sólidos, lo que hoy en día se refleja en toneladas de subproductos que son utilizados en bajas proporciones como alimento animal, composta u otras aplicaciones.

Estos subproductos son una considerable fuente de compuestos fitoquímicos, particularmente, la cáscara se ha reportado como fuente de fibra dietaria, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos (flavonoides, catequinas, procianidinas), saponinas entre otros. Estos compuestos pueden ser extraídos y aportar beneficios para la salud humana como agentes fitoquímicos en formulaciones de

alimentos o cosméticos, para llegar a productos más “naturales y limpios”, los cuales han presentado un notable crecimiento en su demanda por los consumidores en los últimos años.

Uno de los componentes mayoritarios presentes en la cáscara es la fibra dietaria la cual suele representar alrededor del 50 % de los carbohidratos de esta matriz. Muchas investigaciones han asociado un aumento en el consumo de este componente con la prevención y conservación de la salud. La fibra insoluble, se ha relacionado con una capacidad de reducir el tiempo de tránsito del bolo fecal en el intestino, resultando eficiente en la reducción de los síntomas de estreñimiento y en una rápida eliminación de sustancias tóxicas. Por otra parte, la fibra soluble, es capaz de ser fermentada, de forma parcial o total por la microbiota intestinal, produciendo generalmente compuestos benéficos como ácidos grasos de cadena corta (AGCC) (principalmente ácido acético, propiónico y butírico), gases (dióxido de carbono, metano, y dihidrógeno) y ácido láctico. La inclusión de la fibra dietaria dentro de alimentos ha resultado en la prevención y mejoramientos de patologías como las enfermedades gastrointestinales, enfermedades cardiovasculares, obesidad, diabetes tipo 2, entre otra.

Por otra parte, los pacientes con alguna patología asociada a la ingesta de gluten se han caracterizado por presentar microbiotas desequilibrada con aumento de la presencia de patógenos y la disminución de bacterias benéficas (Bifidobacterias, así como otros padecimientos gastrointestinales asociados, por lo cual el incremento del consumo de fibra dietaria puede ser de gran utilidad. Hasta la fecha no existe tratamiento farmacéutico disponible, los síntomas se pueden evitar mediante el consumo de una dieta libre de gluten. Actualmente se encuentran en el mercado una gran diversidad de productos dentro de los cuales se tienen diversos tipos de panes. Los “*hot cakes*” o panqueques encabezan la lista de los desayunos más consumidos en México según una encuesta realizada en 2018, sin embargo, es necesario el incremento de alternativas libres de gluten y adicionados en fibra dietaria con propiedades antioxidantes de estos productos en el mercado

para pacientes con patologías asociadas a la ingesta de gluten u otros consumidores que tengan preferencia por este tipo de alimentos.

Es por esto que el objetivo del presente fue caracterizar la fibra dietaria y los compuestos bioactivos asociados de la cáscara del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass' para su aplicación en "hot cakes" libres de gluten.

II. ANTECEDENTES

II.1. Generalidades del fruto del aguacate

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una fruta climatérica tropical y subtropical de forma generalmente ovalada y alargada, que ha experimentado una creciente aceptación en los consumidores del mundo debido a su elevado contenido nutricional (Del Castillo-Llamosas *et al.*, 2021). Otros factores que han motivado este crecimiento, son las diferentes opciones que existen para su consumo tanto en fresco como procesado, y su inclusión cada vez más elevada en otros sectores como la industria cosmética, farmacéutica, entre otras (Lister *et al.*, 2021; Salazar-López *et al.*, 2021). Además, es la fruta más importante y la única comestible de la familia Lauraceae por lo que posee un elevado valor comercial (Araújo *et al.*, 2018)

Este fruto es originario de México y Centroamérica, existiendo evidencia de su consumo en México durante los últimos 10 000 años (Araújo *et al.*, 2018). Su distribución natural va desde México hasta Perú, incluyendo Centro América, Colombia, Venezuela y Ecuador. Resulta destacable su presencia en los estados mexicanos de Michoacán, Chiapas, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, entre otros (Araújo *et al.*, 2018; Bernal *et al.*, 2020).

II.1.1. Aguacate variedad 'Hass'

El aguacate variedad 'Hass' es un híbrido de las razas guatemalteca y mexicana, considerado en la actualidad como el cultivar más importante desde el punto de vista comercial y el más producido a nivel mundial, gracias a la calidad de sus

frutos, su alto rendimiento productivo, resistencia y maduración tardía destacándose México, Chile y Estados Unidos como principales productores (Yahia & Woolf, 2011).

El fruto del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. “Hass” ha sido cada vez más reconocido por sus altos niveles nutritivos y riqueza de compuestos bioactivos, los cuales incluyen vitaminas E, ácido ascórbico, ácidos grasos poliinsaturados, fibra dietética, carotenoides y fenoles solubles (Saavedra *et al.*, 2017).

II.1.1.1. Morfología del aguacate cv. ‘Hass’

El aguacate es un fruto esférico, ovalado, con corteza gruesa y quebradiza y superficie áspera; la pulpa es cremosa, con excelente sabor sin fibra y finales del proceso de maduración y es de color crema amarilla (Araújo *et al.*, 2018) (Figura 1). De acuerdo con el estado de madurez, la cáscara presenta un color que puede ir desde verde opaco hasta morado oscuro. Los frutos son retenidos en la planta hasta por 6 meses posterior a su madurez fisiológica, sin pérdida marcada en la calidad (Bernal *et al.*, 2020).



Figura 1. Fruto del aguacate ‘Hass’.

Durante la maduración del fruto se aprecia una marcada disminución del brillo y de la dureza. Ambos parámetros son fundamentales para la clasificación del aguacate en la industria por la facilidad con la cual pueden determinarse. Sin embargo, estas mediciones pueden sobreestimarse debido a los daños mecánicos que presenta la fruta luego de su cosecha (Cowan & Wolstenholme, 2015). El proceso de maduración del aguacate se correlaciona con un aumento significativo

del contenido de compuestos fenólicos totales y flavonoides en la semilla y un aumento de los monosacáridos glucosa y fructosa (Sánchez-Quezada *et al.*, 2021).

II.1.2. Usos del aguacate 'Hass' y generación de desechos

Entre los usos que tiene el aguacate destacan su consumo como fruta fresca, la extracción y el empleo del aceite y su incursión en la industria cosmética (en jabón, champú, etc.). Al comparar con muchas frutas que típicamente tienen un característico sabor dulce o ácido, los aguacates tienen una consistencia suave, cremosa, un sabor agradable y sutil. Además, pueden consumirse de forma procesada como guacamole, producto para untar diferentes productos alimenticios (García-Vargas *et al.*, 2021). El aceite extraído a partir del fruto, se puede emplear para cocinar o como aderezo, salsas o adobos y en la industria cosmética (luego de ser refinado) se adiciona en productos para el cuidado de la piel como protectores solares, lociones, cremas limpiadoras y humectantes, acondicionadores para el cabello y bases de maquillaje (Lister *et al.*, 2021; Salazar-López *et al.*, 2021). Existen otros usos menos convencionales y extendidos a nivel mundial como su inclusión en la repostería, la industria de bebidas o su uso como biocombustible (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2022; Yahia & Woolf, 2011).

Otra aplicación prospectiva de los residuos de aguacate es la extracción y purificación de fibra dietaria con propiedades antioxidantes, ingrediente muy demandado en la actualidad para su incorporación en otros productos de diversa naturaleza. En alimentos puede ser capaz de reducir su contenido calórico, mejorar la salud intestinal de quien lo consuma y disminuir su absorción de grasas, entre otros efectos. (Khorasaniha *et al.*, 2023; Popoola-Akinola *et al.*, 2022^a; Rouhou *et al.*, 2018).

El procesamiento industrial del fruto para la obtención de derivados genera grandes cantidades de semillas y cáscaras como principales desechos, que actualmente se desperdician con mínimas aplicaciones comerciales valiosas y generan enormes volúmenes de contaminantes orgánicos (Del Castillo-Llamosas

et al., 2021; Salmeron-Ruiz, 2014). La cáscara de aguacate llega a representar entre un 11 a un 16 % del peso del peso total del fruto; la semillas entre un 14 y un 24 %, los residuos sólidos entre un 5 y un 10 %, lo que hoy en día se refleja en toneladas de subproductos descartados sin más aplicación que para la alimentación animal (Figuroa *et al.*, 2021; López-Cobo *et al.*, 2016).

Las decisiones sobre el tratamiento de los subproductos deben involucrar dos aspectos fundamentales A) la factibilidad relacionada con los costos y beneficios económicos para la industria; B) el impacto que pueden tener el empleo de estos subproductos para la sociedad y el medio ambiente (Figuroa *et al.*, 2021).

II.2. Producción y consumo de aguacate

II.2.1. Producción mundial

La producción de aguacate se da en más de 60 países (FAOSTAT, 2023), siendo la variedad Hass la de mayor disponibilidad durante todo el año. (Rodríguez-Carpena *et al.*, 2011).

Las estadísticas recientes reflejan un aumento sostenido en la producción, exportación y consumo del aguacate ‘Hass’ (López-Cobo *et al.*, 2016). Durante el año 2016 el total de hectáreas dedicadas a este cultivo fue de 677,209 ha, mientras que en el año 2022 estas se habían incrementado un 22 % hasta llegar a un total de 871,653 ha a nivel mundial. Igualmente, la producción sufrió un incremento 2,772,634.36 entre estos años, lo cual representó un aumento de un 31.46 %. La Tabla 1 muestra la producción y el área cosechada a nivel mundial desde 2016 hasta el 2021.

Tabla 1. Producción y área dedicada al cultivo del aguacate cv. ‘Hass’ a nivel mundial (2018-2021)

Año	Área cosechada (ha)	Producción (t)
2018	738397.00	6904127.88
2019	758354.00	7273569.06

2020	818593.00	8219648.30
2021	871653.00	8810452.45

Fuente: FAOSTAT (2023)

II.2.2. Producción de aguacate en México

Según estadísticas, en 2021 un total de 248 000 ha fueron dedicadas al cultivo de aguacate y el volumen de producción de este fruto alcanzó los 2.44 millones de toneladas métricas, lo que representó un incremento de casi 50.000 toneladas métricas en comparación con la cantidad reportada el año anterior. De ellas, un 75% procedían del estado de Michoacán (Figura 2) (FAOSTAT, 2023).

A fines del año 2022 en México se produjeron 2,540,715 toneladas del fruto, concentrando en Michoacán la mayor superficie cultivada con 183 385 ha y aportando el 70.6% del total nacional (SIAP, 2022) .

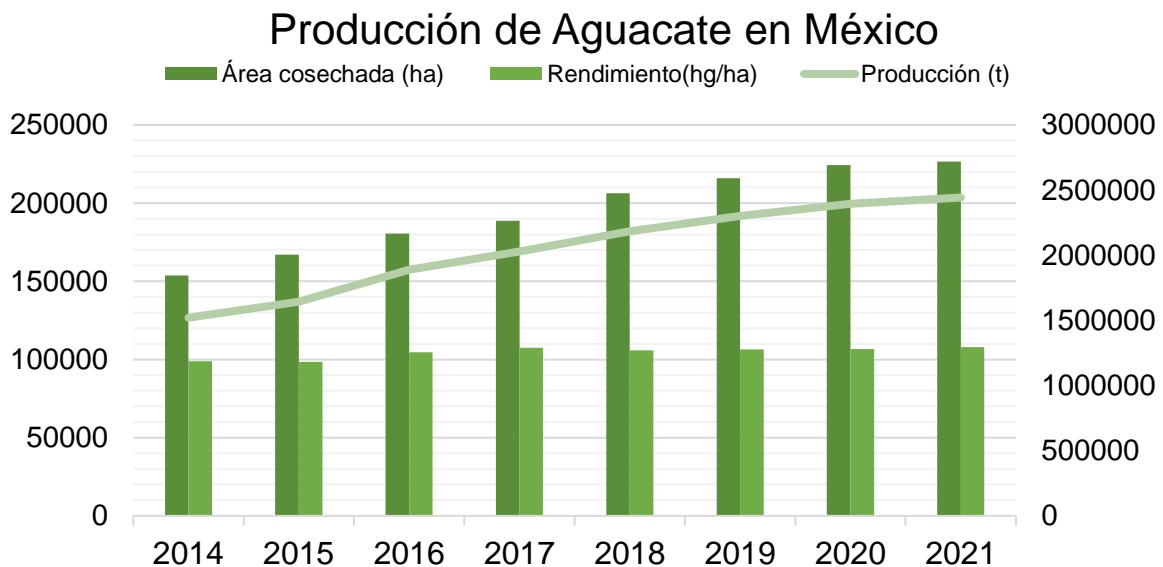


Figura 2. Producción de aguacate en México (2014-2021) (FAOSTAT 2023).

II.3. Composición nutrimental del aguacate ‘Hass’

El perfil nutricional comprende vitaminas (B1, B2, C, D y E), ácidos grasos monoinsaturados, polifenoles, alta concentración de proteínas, fibra dietética,

fitoesteroles entre otros. Debido a la presencia de estos compuestos se le ha relacionado con diversas propiedades benéficas para la salud, como antioxidante, antiobesogénica, hipoglucemiante, antihipertensiva y antimicrobiana, entre otras (del Castillo-Llamosas *et al.*, 2021; Ranade & Thiagarajan, 2015). Sin embargo, las concentraciones dependerán de la parte del fruto.

II.3.1. Cáscara

Araujo *et al.* (2021) reportaron la siguiente composición química de la cáscara de aguacate en base seca: 3.57 ± 0.11 % de cenizas, 2.87 ± 0.22 % de lípidos, 4.47 ± 0.55 % de proteínas, 67.80 ± 0.42 % de fibra insoluble y 21.01 ± 0.57 % de fibra soluble

Por otra parte, Del Castillo-Llamosas *et al.* (2021) reportaron a la lignina como componente principal de la cáscara de aguacate, la cual representó el 41.92 %. El contenido de glucanos fue de 19.43 % y el de la hemicelulosa de 26.51 %. La fracción extraíble constituida fundamentalmente por azúcares monoméricos y ácidos orgánicos representó el 8.01 %. Finalmente, el contenido de cenizas fue de 2.87 %.

Velderrain-Rodríguez *et al.* (2021b) determinaron también la composición química de macronutrientes del extracto etanólico liofilizado de la cáscara presentando: 39.36 % de carbohidratos, las proteínas constituyeron el 2.82 % y los lípidos, humedad y cenizas fueron 7.68 %, 14.45 % y 7.34 % respectivamente. El aporte energético resultante fue de 226.04 kcal/100 g.

II.4. Perfil fitoquímico de cáscara de aguacate cv. 'Hass'

Los compuestos fitoquímicos son generados por las plantas durante los procesos metabólicos que en ella se desarrollan. Forman parte de la defensa química natural y generalmente poseen alguna actividad biológica para los individuos que los consumen (antimicrobiana, antioxidante etc.) (Cerdeira-Opazo *et al.*, 2021; Trujillo-Mayol *et al.*, 2021; Figueroa *et al.* 2021). Estos compuestos participan en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente y su producción puede

inducirse cuando las plantas son expuestas a condiciones adversas (López-Cobo *et al.*, 2016).

La cáscara de aguacate es una mezcla compleja de metabolitos donde destaca la presencia en concentraciones elevadas de compuestos fenólicos como catequina y compuestos poliméricos: proantocianidinas, glucósidos de quercetina, dímeros de procianidina de tipo A y B, trímeros de procianidina de tipo A, ácido cafeoilquínico, ácido cumaroilquínico a los cuales se le atribuye gran parte de la capacidad antioxidante de estos subproductos (Araujo *et al.*, 2021; López-Cobo *et al.*, 2016; Velderrain-Rodríguez *et al.*, 2021).

Figuroa *et al.* (2018) identificaron mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC por sus siglas en inglés) un total de 61 compuestos fenólicos y otros compuestos polares en cáscara de aguacate, entre ellos ácidos orgánicos como el ácido succínico, ácidos hidroxibenzóicos, derivados de alcoholes fenólicos, flavonoides como catequinas, dímeros, trímeros y tetrameros de procianidinas, así como otros compuestos polares.

De igual forma, otro estudio realizado en cáscara de aguacate cv. 'Hass' utilizando extracción asistida por microondas (MAE por sus siglas en inglés) y cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas (HPLC-MS por sus siglas en inglés) demostró la presencia de una amplia variedad de polifenoles y compuestos polares. Se identificaron cerca de un total de 53 compuestos y estos fueron clasificados en diferentes familias: ácidos orgánicos, ácidos fenólicos, flavonoides, catequinas, procianidinas y otros compuestos polares, resultando las procianidinas como el grupo químico mayormente representado con un total de 25 compuestos detectados en la muestra (Figuroa *et al.*, 2021).

Por otra parte, Velderrain-Rodríguez *et al.* (2021) compararon la composición de los subproductos de aguacate, encontrándose una mayor concentración de compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides) y carotenos en la cáscara de aguacate que en sus semillas. Así mismo, presentó una capacidad antioxidante superior en las tres determinaciones realizadas (inhibición de radicales 1,1-difenil-

2-picrilhidrazil o DPPH; ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolina sulfónico) o ABTS; y por medio de la técnica del poder antioxidante reductor férrico o FRAP.

Otros productos alimenticios han incorporado de forma funcional la cáscara del aguacate 'Hass' en su composición. Tal es el caso, del desarrollo de un té a partir de este subproducto con elevado contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, así como aceptabilidad sensorial (Rotta *et al.*, 2015). De forma similar, Miranda *et al.*, (2021) propusieron la sustitución parcial de harina de trigo por harina obtenida a partir de cáscara de aguacate para el desarrollo de pastas comerciales, obteniéndose un enriquecimiento en el contenido de fibra, así como de compuestos fenólicos en dichas formulaciones.

II.5. Pigmentos presentes en la cáscara de aguacate cv. 'Hass'

Varios estudios han demostrado que las diferentes partes de los aguacates poseen concentraciones considerables de pigmentos vegetales. Fundamentalmente, clorofilas, carotenoides y antocianinas (Araújo *et al.*, 2018; Ramos-Aguilar *et al.*, 2021). La distribución de estos y concentraciones de estos en las diferentes partes del fruto varía considerablemente con los estados de madurez (Wang *et al.*, 2010). Este tipo de compuestos se caracterizan por degradarse con relativa facilidad frente a diversos factores químicos y físicos, como el pH, luz, temperaturas altas, oxígeno, iones metálicos, entre otros (Li *et al.*, 2021).

II.5.1. Antocianinas

Las antocianinas son pigmentos naturales solubles en agua que pertenecen al grupo químico de los flavonoides. Estos compuestos aportan coloraciones rojo, púrpura y azules en plantas y tienen un papel fundamental en la propagación de estas y sus mecanismos de defensa (Ghosh *et al.*, 2022; Sharma *et al.*, 2021).

En el 2006 se determinó que las concentraciones de antocianinas aumentaban continuamente durante la maduración del aguacate 'Hass'. El 3-O-glucósido de cianidina representó casi la totalidad de la concentración de antocianinas

detectada (98 % aproximadamente) (Ashton *et al.*, 2006). La estructura química de este compuesto se muestra en la Figura 3.

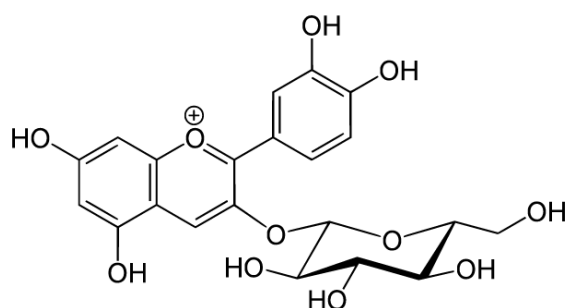


Figura 3. Estructura de 3-O-glucósido de cianidina (Escobar, 2022).

II.6. Bioactividad de extractos obtenidos a partir de residuos de aguacate

Los extractos acuosos y etanólicos obtenidos a partir de residuos de aguacate han sido utilizados de forma tradicional debido a las propiedades biológicas que presentan (Trujillo-Mayol *et al.*, 2020). De estos extractos se han reportado actividades biológicas como larvicida, antifúngico, antimicrobiano, antioxidante, antiprotozoario, antidiabético, antihipertensivo, hipocolesterolémico y antimicobacteriano, así como actividad inhibitoria de la oxidación de lípidos y proteínas (Aprilianto *et al.*, 2019; Cerda-Opazo *et al.*, 2021; Jimenez *et al.*, 2021; Louis *et al.*, 2020; Oboh *et al.*, 2014; Odo *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2018).

Los compuestos bioactivos presentes en extractos de residuos de aguacate se han utilizado de forma directa o como ingrediente de otras formulaciones tienen cada vez más perspectivas de uso. De forma particular destaca el empleo de las procianidinas como agentes antitumorales contra células B16F10 (melanoma) (Cerda-Opazo *et al.*, 2021).

II.6.1. Actividad antioxidante

Los compuestos antioxidantes son sustancias con la capacidad de eliminar o quelar radicales libres e inhibición de enzimas oxidantes como las EROs (especies reactivas del oxígeno), que están asociadas con muchas enfermedades crónico-

degenerativas no transmisibles (ECNTs) entre las cuales se pueden citar dislipidemias, sobre-peso, obesidad, enfermedades cardiovasculares, diabetes e incluso el cáncer (Adegbola *et al.*, 2017; Araujo *et al.*, 2021; Pérez-Torres *et al.*, 2021; Unuofin & Lebelo, 2020).

Los compuestos fenólicos son considerados como antioxidantes primarios. El poder antioxidante de estos está ligado a sus propiedades reductoras como agentes donantes de hidrógeno (HAT. por sus siglas en inglés) o por mecanismo de donación de electrones (SET. por sus siglas en inglés), lo cual indica su potencial como secuestrantes de radicales libres y su capacidad de quelación de metales, especialmente, hierro y cobre, disminuyendo la formación de radicales libres catalizada por metales (Ge *et al.*, 2021).

Las capacidades antioxidantes de los subproductos de aguacate han mostrado efectos dependientes de la dosis y el método de extracción seleccionado en cada caso (Rodríguez-Carpena *et al.*, 2011).

Figuroa *et al.* (2021) describen posibles aplicaciones del extracto de cáscara de aguacate (optimizados con microondas), debido a la alta capacidad inhibidora de proteínas como las matrices de metaloproteinasas (MPP) en concentraciones relativamente bajas y la alta capacidad antioxidante. Esta propiedad es de interés para la industria alimentaria porque define a los productos que la tienen como ingredientes antioxidantes con propiedades conservantes en alimentos como embutidos o para la formulación de alimentos nutracéuticos con actividad antioxidante y antienvjecimiento. Las MMP son proteasas extracelulares que son capaces de degradar específicamente un gran número de sustratos dentro de los cuales se encuentran componentes básicos de la membrana y la matriz extracelular como varios tipos de colágenos, elastina, fibronectina, gelatina y proteoglicanos, entre otros. Estas enzimas están asociadas tanto a procesos normales como patológicos como cáncer, inflamación, artritis y enfermedad periodontal, entre otros (Jacobsen *et al.*, 2007).

Ferreira & Santos (2022) propusieron el empleo de un extracto obtenido a partir de la cáscara de aguacate como sustituto de conservadores sintéticos en mayonesas,

mostrando una capacidad antioxidante similar a análogos sintéticos y capacidad para inhibir el crecimiento microbiano dentro de las formulaciones, sin alterar sus características físicas.

II.7. Toxicidad de la cáscara de aguacate

Tremocoldi *et al.* (2018) determinaron el potencial tóxico del extracto etanólico de cáscara de aguacate 'Hass' sobre una línea celular de macrófagos de ratón (RAW 264.7), el cual resultó no tóxico hasta concentraciones de 10 µg/mL, clasificándose como potencialmente seguro para el consumo humano.

Un estudio en 2021 determinó la toxicidad de un extracto etanólico-acuoso (35 %) de cáscara de aguacate 'Hass' sobre una línea celular de fibroblastos de ratón (L929), induciendo un bajo efecto citotóxico, con una concentración inhibitoria media (IC₅₀) de 908.6 µg/mL, por lo que puede considerarse como potencialmente seguro para el consumo humano (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2021).

Estos resultados contribuyen a potencializar los usos de los subproductos del aguacate, especialmente de la cáscara ya que no han presentado hasta la actualidad algún efecto nocivo para la salud, aunque son necesarios más estudios que garanticen la completa inocuidad de estos desechos (Araujo *et al.*, 2021).

II.10. Fibra

II.10.1. Generalidades

La fibra dietaria abarca diferentes tipos de polímeros de carbohidratos y otras sustancias, que se encuentran formando parte de las paredes celulares de los vegetales (Armstrong *et al.*, 2021), los cuales que no son capaces de ser digeridos en intestino delgado de los individuos monogástricos (Cronin *et al.*, 2021). Puede clasificarse de diferentes formas según sus características de solubilidad, viscosidad y su capacidad de ser fermentada (Popoola-Akinola *et al.*, 2022).

Varios estudios han comprobado las diferencias entre los subtipos de fibra con respecto a sus beneficios a la salud y el mecanismo por el cual causan este efecto

en el consumidor (Popoola-Akinola *et al.*, 2022; Yin *et al.*, 2022). La fibra insoluble, constituida principalmente por celulosa y lignina, entre otros componentes se ha asociado con la capacidad de reducir el tiempo de tránsito del bolo fecal en el intestino y aumentar el volumen de este, debido a su capacidad de absorber agua e hincharse, resultando eficiente en la reducción de los síntomas de estreñimiento (Ding *et al.*, 2020). Además, incrementan la velocidad de tránsito intestinal, favoreciendo una rápida eliminación de sustancias tóxicas o potencialmente cancerígenas (Fardet, 2010; Khorasaniha *et al.*, 2023).

Por su parte, la fibra soluble cuya composición incluye pectina, arabinosilano, β -glucanos entre otros constituyentes, se han asociado con su capacidad de ser fermentados (parcial o total), por la microbiota intestinal, produciendo compuestos benéficos como AGCC (ácido acético, butírico, propiónico y láctico) y gases como dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄) y dihidrógeno (H₂). Estos AGCC juegan un rol vital como señalizadores celulares y fuentes energéticas. (Ding *et al.*, 2020; Khorasaniha *et al.*, 2023; Okrathok *et al.*, 2023).

II.10.2. Fibra dietaria antioxidante

Un concepto asociado a la fibra dietaria es el de fibra dietaria antioxidante dada por Saura-Calixto en 1998, definiéndola como aquella que contiene cantidades considerables de compuestos antioxidantes (fundamentalmente compuestos fenólicos) atrapados en su matriz. Para considerarse como fibra dietaria antioxidante, se debe cumplir con los requisitos de representar al menos un 50 % del producto original en base a materia seca, 1 g de dicha fibra debe poseer una capacidad de inhibir la oxidación lipídica equivalente a 200 mg de vitamina E (método de tiocianato) y una capacidad de inhibición de DPPH de al menos 50 mg de Vitamina E. Asimismo, esta capacidad antioxidante debe ser intrínseca del material (Angulo-López *et al.*, 2022).

II.10.3. Fibra en la cáscara de aguacate ‘Hass’

La cáscara de aguacate es una fuente abundante de fibra. Salmeron-Ruiz en 2014 caracterizaron la fracción indigerible de este subproducto y determinó que el

89.39 % de esta fue de naturaleza insoluble (constituida fundamentalmente por azúcares neutros, ácidos urónicos y lignina) y sólo un 7.46 % de naturaleza soluble. Dávila *et al.* (2017), por otra parte, identificaron la presencia en este subproducto de 27.58 % de celulosa y un 25.3 % de hemicelulosa. Un estudio realizado en 2021 reflejó que la lignina representaba un 41.92 % de este material, los glucanos un 19.43 % y la hemicelulosa 26.51 % (Del Castillo-Llamosas *et al.*, 2021). Por otra parte, Araujo *et al.* (2021) determinaron que la fibra insoluble representaba un 67.80 % y la soluble un 21.01 %. Estos estudios previos fundamentan de forma teórica que la cáscara de aguacate como materia prima es fuente de fibra dietaria.

II.11. Enfermedades asociadas a la ingesta de gluten

II.11.1. Generalidades

Existen diversos tipos de patologías asociadas al consumo de alimentos que contienen gluten. La enfermedad celíaca (EC) es una enteropatía crónica del intestino delgado, inmunomediada, dada por la exposición al gluten de la dieta y prolaminas relacionadas, en individuos genéticamente predispuestos, caracterizadas por autoanticuerpos específicos contra transglutaminasa tisular 2 y endomisio (Lebwohl & Rubio-Tapia, 2021). Por otra parte, la alergia al trigo (AT) es una reacción inmunológica adversa a proteínas presentes en este cereal, esta reacción está mediada por anticuerpos IgE específicos, aunque existe AT no mediada por IgE (Remes-Troche *et al.*, 2018). Finalmente, la sensibilidad al gluten es una condición en la que los síntomas se desencadenan debido a la ingesta de gluten sin que se encuentren presentes los anticuerpos ni atrofia de las vellosidades específicas de la enfermedad celíaca (Catassi *et al.*, 2013; Sabeñça *et al.*, 2021).

Los pacientes diagnosticados con EC poseen microbiota desequilibrada con una disminución de bacterias benéficas como bifidobacterias y un aumento de microorganismos patógenos, lo cual se ve reflejado en la funcionalidad de su microbiota (Gobbetti *et al.*, 2018).

Un estudio determinó que el consumo de una dieta libre de gluten condujo a reducciones de las poblaciones bacterianas intestinales beneficiosas, mientras que la ingesta de polisacáridos complejos no mostró estas modificaciones (De Palma *et al.*, 2009). Por lo que la adición de fibra dietaria en productos libres de gluten aporta beneficios para la salud de quien los consume, dado que son capaces de modular la microbiota que en este tipo de pacientes se encuentra alterada debido al desbalance nutricional causado ya sea por la propia enfermedad o por la exposición continua a una dieta libre de gluten (Gobbetti *et al.*, 2018).

II.11.2. Prevalencia mundial

Estudios recientes han estimado una incidencia de EC es del 0.6 % en Asia, del 0.5 % en África y 0.4 % en América del Sur. Además, esta ha sufrido un incremento a lo largo de los años estimado en 0.6 % en el período de 1991 a 2000 y de 0.8 % entre 2001 y 2016 (Singh *et al.*, 2018).

La prevalencia de esta enfermedad puede variar ampliamente entre países a pesar de encontrarse próximos geográficamente. Este hecho ha provocado que los investigadores tomen en cuenta exposiciones ambientales como posibles factores de riesgo para el desarrollo EC (Lebwohl & Rubio-Tapia, 2021).

II.11.3. Prevalencia en México

La enfermedad celíaca era considerada como una patología de baja incidencia en México, en los últimos diez años de acuerdo a estimaciones epidemiológicas que entre 800 000 y 1 000 000 mexicanos podrían presentarla (Remes-Troche *et al.*, 2018). A su vez otros autores han estimado que los casos no diagnosticados podrían representar entre unas cinco y diez veces las cifras de las personas diagnosticadas en México (Rubio-Tapia *et al.*, 2013).

Según gobierno federal: “En México, se estima que 0.9 % de la población, padece la enfermedad celiaca, un 0.7 % tiene alergia al trigo y de 1 a 25 % tiene sensibilidad al gluten no celiaca o padece de intestino irritable/dispepsia, de

acuerdo con los datos de la Revista de Gastroenterología de México y la Revista de Medicina Interna” (Instituto de Salud para el Bienestar, 2022).

II.14. Alimentos libres de gluten

Las dietas libres de gluten se reconocen comúnmente como el único tratamiento para los trastornos asociados a la ingesta de gluten principalmente presente en el trigo. Sin embargo, en la actualidad, un número elevado de personas sin este tipo de padecimiento se están inclinando por este tipo de dieta. La razón fundamental de este crecimiento es la ideología de este sector de la población de que estas alternativas diarias son más saludables que sus equivalentes que contienen gluten, sumado a la búsqueda de pérdida de peso, o para minimizar el riesgo de padecer en el futuro este tipo de patologías (Gobbetti *et al.*, 2018; Sabença *et al.*, 2021).

Sin embargo, este tipo de alimentos ha presentado numerosas deficiencias en cuanto a su textura y otras características sensoriales, esto debido fundamentalmente a la ausencia de las redes tridimensionales continuas que forma el gluten y que son responsables de las propiedades reológicas de las masas (Krupa-Kozak *et al.*, 2021). En consecuencia, esto ha llevado a que los tecnólogos en alimentos aumenten la búsqueda de alternativas que resuelvan estas limitaciones y satisfaga las necesidades actuales con proyección al mercado futuro, principalmente en alimentos con alto consumo poblacional como los “*hot cakes*”.

II.15. Desarrollo de “*hot cakes*” libres de gluten

Los “*hot cakes*” o panqueques son panes de cocción rápida de forma plana y redonda que en México se consumen preferentemente en los horarios de desayuno o cena y que, por lo regular, se preparan en casa a partir de harinas comerciales (PROFECO, 2023). Son ampliamente consumidos alrededor del mundo y pueden servirse con diversidad de coberturas tanto dulces como salados

(Zhang, 2012). En el caso particular de México, se encuentran entre los cinco desayunos más consumidos según un estudio realizado en el 2018 (Juárez, 2020).

Entre las principales ventajas de estos productos son la amplia disponibilidad en el mercado y la rapidez y sencillez con que se preparan. Por otra parte, su principal desventaja su alto aporte calórico (PROFECO, 2023).

Los ingredientes que más frecuentemente se encuentran en este producto se encuentran listados en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales ingredientes empleados en la formulación de "hot cakes" y su función

Ingrediente	Características
<i>Harina</i>	Las más frecuentemente empleadas son las de trigo, maíz, arroz y avena
<i>Agente leudante</i>	Son los responsables de la incorporación de gases a la masa mediante la generación de CO ₂ . Pueden ser agentes biológicos como levaduras o químicos como el bicarbonato de sodio.
<i>Emulsificantes</i>	Mejoran la textura y la uniformidad de la masa. Aumenta el volumen de la masa y su fortaleza. Reduce la velocidad de la rancidez por lo que alargan la vida de estante del producto.
<i>Otros</i>	Sal; azúcar; grasa.

Fuente: Mendoza *et al.* (2007)

La NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008 define a los panes dulces como producto que puede ser elaborado con harina, agua, huevo, azúcares, grasas o aceites comestibles, levaduras, al que se le pueden o no incorporar aditivos para alimentos, frutas en cualquiera de sus presentaciones, sal y leche; amasado, fermentado, moldeado y cocido al horno o por fritura en grasas o aceites comestibles.

Por otra parte, la NORMA Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Alimentos y Bebidas No Alcohólicas Con Modificaciones En Su Composición, Especificaciones Nutrimientales, (1994) establece que los productos adicionados de fibra son aquellos en los que el contenido de fibra es igual o mayor de 2.5 g/porción en relación con el contenido del alimento original o de su similar.

III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, México se sitúa como el principal productor y exportador de aguacates a nivel mundial y uno de sus principales consumidores. Los subproductos generados por el procesamiento de esta fruta para la obtención de aceite, guacamole, pulpa, entre otros, son la semilla y la cáscara, que llegan a representar hasta un 50 % de su peso, los cuales son subutilizados, generando altos índices de contaminación, elevados costos de eliminación y pérdida de nutrientes valiosos. Estos compuestos obtenidos a partir de este desecho orgánico pudieran ser empleados como complementos o suplementos nutricionales en diversidad de alimentos, productos cosméticos o farmacéuticos, sustituyendo componentes sintéticos más contaminantes y menos compatibles con la salud humana.

Por otra parte, los pacientes con patologías asociadas a la ingesta de gluten presentan desbalances en su microbiota, los cuales pueden deberse a la enfermedad en si o la exposición continua a una dieta libre de gluten. El enriquecimiento con fibra dietaria de productos libres de gluten puede contribuir a revertir o disminuir este efecto, por su capacidad de modular el microbiota intestinal.

Esta tesis de investigación contribuyó a la caracterización de los subproductos del aguacate, de forma particular de la cáscara, proponiendo su empleo funcional en un alimento, con el fin de contribuir a la valorización de este subproducto, y a la disminución de la contaminación ambiental generada por este tipo de desecho agroindustrial.

IV. OBJETIVOS

IV.1. Objetivo general

Caracterizar la fibra y los compuestos bioactivos asociados a la cáscara del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass' para su aplicación en "hot cakes" libres de gluten.

IV.2. Objetivos específicos

1. Extraer la fibra de la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill.) 'Hass' y determinar su capacidad antioxidante, así como sus compuestos bioactivos asociados.
2. Caracterizar las propiedades tecno-funcionales de la fibra de cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill.) 'Hass'.
3. Desarrollar "hot cakes" enriquecidos con la fibra de cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill.) 'Hass' como alternativa para individuos intolerantes al gluten con aceptación sensorial.
4. Caracterizar física, química, tecnofuncional y sensorialmente los "hot cakes" enriquecidos con fibra de cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill.) 'Hass'.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

V.1. Materiales

V.1.1. Material Vegetal

Las cáscaras de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. 'Hass' fueron obtenidas a partir de aguacates en diferentes estados de madurez basados en los parámetros de porcentaje de materia seca y color descritos por Burdon *et al.* (2015) y Sánchez-Quezada *et al.* (2021) respectivamente. Los frutos completos fueron recolectados en supermercados locales de la ciudad de Querétaro, Querétaro durante el primer semestre del año 2023. Las cáscaras se lavaron primeramente

con agua destilada y posteriormente con solución de hipoclorito de sodio 200 ppm para luego ser almacenadas congeladas libres de pulpa hasta su procesamiento a -17 °C. Para su procesamiento fueron secadas en estufa por 5 horas a 75 °C para posteriormente ser molidas y tamizadas por malla 60 hasta un tamaño de partículas menor a 250 µm. La harina de aguacate se empleó como control en los ensayos realizados en la fibra de cáscara de aguacate ‘Hass’.

V.1.2. Reactivos

Todos los reactivos empleados en esta investigación se obtuvieron de las compañías (marca) Sigma-Aldrich y J.T. Baker, a menos que se señalara lo contrario.

V.2. Metodología.

V.2.1. Obtención de fibra dietaria a partir de cáscara de aguacate ‘Hass’

Previamente a los procesos de extracción y con la finalidad de remover azúcares libres, ácidos orgánicos y otras sustancias solubles la muestra fue tratada con etanol al 90 % en una relación muestra/solvente de 1:10 por 90 min con agitación a 350 rpm. Posteriormente se centrifugó la mezcla a 2500 g por 15 min y el residuo sólido se dejó secar a 60 °C por 12 h según la metodología propuesta por Devi *et al.* (2023)

V.2.1.1. Tratamiento alcalino

Esta metodología se realizó siguiendo la propuesta por Devi *et al.*, (2023) con modificaciones. Se siguió un diseño factorial 3² descrito en la Tabla 3.

Tabla 3. Diseño experimental de extracción alcalina de fibra dietaria.

Factor	Corrida Experimental								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1
X2	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1

Donde:

X1: Concentración molar de NaOH (-1 = 0.1 M; 0 = 0.5 M; 1 = 0.7 M)

X2: Relación muestra/solvente (g/mL) (-1 = 1:10; 0 = 1:25; 1 = 1:50)

La muestra se colocó en contacto con NaOH_(ac) en la concentración y proporción correspondiente durante 30 min. Una vez terminada la extracción se neutralizó la mezcla empleando HCl en la misma concentración molar del NaOH_(ac) empleado. Se dejaron en reposo cada una de las mezclas por 30 min para luego ser centrifugadas a 3000 g por 15 min a 20 °C. Posteriormente el residuo obtenido fue lavado con etanol al 80 % v/v y centrifugado nuevamente a 3000 g por 10 min a 20 °C para finalmente ser secado en estufa a 50 °C por 12 h para obtener de esta forma el concentrado de fibra dietaria.

V.2.1.2. Tratamiento asistido por ultrasonidos de alta frecuencia

Esta metodología se realizó siguiendo la propuesta por Ding *et al.* (2020) con modificaciones empleando un ultrasonido de alta frecuencia Hielscher UP400St (Hielscher ultrasonics, Alemania). Se siguió un diseño factorial 3³ descrito en la **Tabla 4.**

Tabla 4. Diseño experimental de extracción de fibra dietaria asistida por ultrasonidos de alta frecuencia

Factor	Corrida Experimental																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
X1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
X2	-1	-1	0	0	1	1	-1	-1	0	0	1	1	-1	-1	0	0	1	1
X3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Donde:

X1: Tiempo de extracción (-1 = 10 min; 0 = 25 min; 1 = 40 min)

X2: Proporción de muestra/solvente (-1 = 1:10; 0 = 1:25; 1 = 1:40)

X3: Amplitud (-1 = 20 %; 1 = 50 %)

Las muestras se colocaron en la cámara de extracción ajustando las variables de tiempo, proporción y amplitud correspondiente respetando las condiciones propuestas en el diseño experimental.

V.2.2. Determinación del rendimiento de concentrado de fibra obtenido

Este parámetro se determinó para cada una de las condiciones de extracción empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{masa (concentrado de fibra)}}{\text{masa (muestra)}}$$

V.2.3. Obtención de extractos etanólico de fibra dietaria

V.2.3.1. Compuestos fenólicos libres

El extracto etanólico para la caracterización fitoquímica (compuestos fenólicos libres) de la fibra dietaria se realizó siguiendo la metodología de Cardador-Martínez *et al.* (2002) con modificaciones para cada una de las condiciones de extracción. Se pesó 1 g la muestra a la cual se le adicionaron 10 mL de etanol, posteriormente se cubrieron los matraces con aluminio para protegerlos de la luz, y con parafilm para evitar la evaporación del solvente. Los recipientes se colocaron en agitación constante durante 24 h. Posteriormente, se centrifugaron a 4000 g durante 10 min a 4 °C para conservar el sobrenadante.

V.2.4. Determinación de compuestos bioactivos asociados a la fibra de cáscara de aguacate cv. 'Hass'

V.2.4.1. Determinación de compuestos fenólicos totales (CFT)

Esta determinación se realizó mediante la técnica descrita por Singleton *et al.* (1999) empleando el reactivo de Folin-Ciocalteu adaptado a microplacas de 96 pozos. Se colocaron en cada pozo 25 µL del extracto de la muestra, 25 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu (disuelto 1:1 en agua destilada) y 200 µL de agua destilada. Se incubaron durante 5 min a 40 °C aislado de la luz. Posteriormente se añadieron 25 µL de carbonato de sodio al 10 %. Se incubaron nuevamente por 30

min a 40 °C aislado de la luz. Finalmente, se leyó la absorbancia de la muestra a 760 nm empleando un espectrofotómetro Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.3.1). La concentración de fenoles totales se determinó mediante una curva de calibración de ácido gálico. La concentración final se expresó como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por g de muestra en base seca.

V.2.4.2. Determinación de flavonoides totales libres

Esta determinación fue realizada empleando el método de Oomah *et al.*, (2005) adaptado a microplaca de 96 pozos. Se colocaron 50 µL del extracto etanólico de la muestra en cada pozo. Posteriormente se añadieron 180 µL de metanol y 20 µL de 2-aminoetildifenilborato al 1 % en metanol. Se agitó la mezcla hasta lograr la homogeneidad. Finalmente se leyó la absorbancia de la muestra a 404 nm empleando un espectrofotómetro Multiskan. La concentración de flavonoides se determinó mediante curva de calibración de rutina, los resultados se expresaron como mg equivalentes de rutina (RE) por g de muestra en base seca.

V.2.4.3. Determinación de taninos condensados libres

Esta determinación se realizó siguiendo la metodología propuesta por Deshpande & Cheryan, (1987). Se tomaron 50 µL del extracto y se adicionaron 200 µL de reactivo de vainillina 0.5 % (vainillina 1 % en metanol y HCl 8 % en metanol en una relación 1:1) y se colocaron en una placa de 96 pozos. Se preparó un blanco de la misma manera, pero sustituyendo la muestra por 50 µL de metanol y 200 µL de HCl 4 %. Los taninos condensados se cuantificaron a 492 nm en un lector de microplacas. Los resultados se obtuvieron mediante curva de calibración de (+)-catequina. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de (+)- catequina por g de muestra.

V.2.4.4. Determinación de saponinas totales

Esta cuantificación se realizó siguiendo la metodología propuesta por Hiai *et al.* (1976). Se tomaron 10 g del material vegetal previamente pulverizado y

desengrasado a los cuales se le añadieron 100 mL de metanol 50 % (v/v). La mezcla se agitó por 24 h protegido de la luz. Posteriormente, se centrifugó a 3000 g por 10 min y se conservó el sobrenadante. Al residuo se le realizó la misma extracción por 24 h descrita con anterioridad, se centrifugó a 3000 g por 10 min y se mezclaron los sobrenadantes. Se evaporó el metanol en rotoevaporador a 42 °C y se centrifugó nuevamente la fase acuosa a 3000 g por 10 min. Se realizaron 3 extracciones con iguales volúmenes de cloroformo para la eliminación de pigmentos y 2 extracciones con *n*-butanol. Se evaporó a sequedad este solvente. El residuo se resuspendió en 10 mL de agua. Se tomaron alícuotas de 250 µL a las cuales se les añadieron 250 µL de solución de vainillina al 8% m/v y 1 mL de H₂SO₄ (ac) al 72% v/v. Esta mezcla se incubó a baño maría a 60 °C por 10 min para luego someter la muestra a baño de hielo por 4 min. Se leyó la absorbancia inmediatamente a 544 nm. Los resultados se obtuvieron con una curva de calibración de diosgenina y se reportaron como mg equivalentes de diosgenina por g de muestra seca.

V.2.5. Determinación de capacidad antioxidante de la fibra de cáscara de aguacate cv. 'Hass'

V.2.5.1. Método DPPH

La técnica de DPPH se basa en determinar la capacidad de una muestra para donar protones (H⁺) y de esta forma estabilizar al radical artificial 2-2 difenil-1-hidroxil (morado) a su forma reducida (amarilla). Esta determinación se realizó empleando la metodología propuesta por Fukumoto & Mazza (2000), adaptado a microplaca de 96 pozos. La medición se realizó por triplicado. Se añadieron a cada pozo 20 µL del extracto de la muestra a los cuales posteriormente se adicionaron 200 µL de la solución de DPPH. Para la solución control, se añadieron a la microplaca 20 µL de metanol con 200 µL de la solución DPPH y como blanco se empleó 20 µl de metanol y 200 µl del solvente con el que se realizó el extracto. Las muestras se leyeron en el espectrofotómetro cada 10 min a una longitud de onda de 540 nm hasta completar 90 min. Los valores se

compararon con una curva de calibración de Trolox y se expresaron como μ moles equivalentes de este estándar por g de muestra seca (TEAC).

V.2.5.2. Método ABTS

La determinación de actividad antioxidante por el método de inhibición del radical ABTS+• [ácido 2,2-azino(bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)] se realizó siguiendo la metodología descrita por Nenadis *et al.* (2004), adaptada a microplaca. Se preparó una solución acuosa de 7 mM de ABTS+• de los cuales se tomaron 5 mL y se le adicionaron 88 μ L de la solución de persulfato de potasio $K_2S_2O_8$ (140 mM). Se conservó la mezcla a la luz durante 12 h para la generación del radical activado. Posteriormente, se realizó una dilución mezclando 250 μ L de la solución en 10 mL de etanol y se ajustó la absorbancia ente 0.8 y 1.0. Se colocaron 20 μ l del extracto, blanco, estándar y control en cada pocillo de la microplaca, a estos se les adicionaron 230 μ L de ABTS+•, transcurrido un min se leyó en espectrofotómetro (Thermo Scientific Multiskan GO, Software UV Win Lab v.2. 85. 04, 2000) a una longitud de onda de 734 nm. Los resultados obtenidos se expresaron como μ mol equivalentes de Trolox por g de muestra seca (TEAC).

V.2.5.3. Método FRAP

La capacidad antioxidante medida por la generación de color por la formación del complejo hierro ferroso-TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina) se determinó siguiendo la metodología descrita por Benzie & Strain (1996) adaptada a microplaca. Este ensayo reporta la capacidad de la muestra de reducir el ion Fe^{3+} que se encuentra formando un complejo con el TPTZ (cobrizo) a su forma reducida Fe^{2+} , generándose una coloración azul. Se colocaron 25 μ l de muestra en cada pocillo y se adicionarán 175 μ l de la solución de trabajo FRAP. Posteriormente se leyeron a 595 nm en espectrofotómetro. Los resultados obtenidos se expresaron como μ mol equivalentes de Trolox/g de muestra seca (TEAC).

V.2.6 Caracterización tecno-funcional de la fibra dietaria de cáscara de aguacate ‘Hass’

V.2.6.1. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua fue determinada siguiendo la metodología siguiente: Se tomaron 0.5 g del concentrado de fibra dietaria (seca y molida) a los cuales se les añadieron 3.75 mL de una solución tampón de fosfato (0.8 M, pH 6.3). La mezcla se agitó en vortex por 10 seg y dejó reposar a temperatura ambiente (25 °C) durante 1 h. Posteriormente, se centrifugó a 3000 g por 20 min a 15 °C. Se decantó el sobrenadante y se pesó el residuo. Finalmente, la capacidad de retención de agua se expresó como g de agua retenida por g de muestra y se determinó empleando la siguiente ecuación (Rouhou *et al.*, 2018):

$$CRA = \frac{m2 - m1}{m1}$$

Donde:

m1: Peso inicial de la muestra

m2: Peso de la muestra después de la centrifugación

V.2.6.2. Capacidad de retención de aceite

La capacidad de retención de aceite fue determinada siguiendo la metodología propuesta por Rouhou *et al.* (2018) con modificaciones. Se tomaron 0.5 g del concentrado de fibra dietaria (seca y molida) a los cuales se les añadieron 3.75 mL de aceite vegetal. La mezcla se agitó y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 1 h y posteriormente se centrifugó a 3000 g por 20 min a 15 °C. Se decantó el sobrenadante y se pesó el residuo. Finalmente, la capacidad de retención de aceite se expresó como g de aceite vegetal retenido por g de muestra y se determinó empleando la siguiente ecuación:

$$CRO = \frac{m2 - m1}{m1}$$

Donde:

m1: Peso inicial de la muestra

m2: Peso de la muestra después de la centrifugación

V.2.6.3. Capacidad de adsorción de glucosa

Se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Chu *et al.* (2019) con modificaciones. Se tomaron 50 mg de la fibra dietaria obtenida y se mezclaron con 10 mL de solución de glucosa a concentración conocida de 100 mM. Se agitó la mezcla a 37 °C durante 6 h y posteriormente se centrifugaron a 3000 g por 15 min. El contenido de glucosa en el sobrenadante se determinó por el método DNS empleando una curva de calibración de glucosa.

V.2.7. Elaboración de harinas para “hot cakes” libres de gluten y adicionadas en fibra de cáscara de aguacate cv. ‘Hass’

Las harinas fueron elaboradas en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro, en la Planta piloto del programa de Posgrado en Alimentos, siguiendo las buenas prácticas de manufactura que marca la NOM-120-SSA1-1994 y en conformidad con la NOM-247-SSA1-2008.

Las formulaciones de las harinas fueron realizadas con base a una receta casera con modificaciones siguiendo un diseño unifactorial en cinco niveles, donde solo se modificó la proporción de fibra dietaria añadida. Las mezclas se muestran en la Tabla 5. El resto de los componentes se mantuvieron fijos en las siguientes cantidades: azúcar refinada (14 g); polvo de hornear (3.50 g); bicarbonato de sodio (1.75 g); y sal (1.15 g) por cada 100 g de harina.

Para la elaboración de la harina se mezclaron los todos los ingredientes secos pasándolos por un tamiz hasta lograr la completa uniformidad de la mezcla.

Tabla 5. Formulaciones de harinas para "hot cakes" adicionadas en fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass'

FORMULACIÓN	INGREDIENTES			
	Harina de arroz (g)	Fibra dietaria (g)	Azúcar (g)	Sal (g)

H0	79.60	0.0	14.0	1.15
H2.5	77.10	2.5	14.0	1.15
H3.0	76.60	3.0	14.0	1.15
H3.5	76.10	3.5	14.0	1.15
H4.0	75.60	4.0	14.0	1.15

Las cantidades están expresadas en g. H0: Harina sin adicionar; H2.5: Harina adicionada con 2.5 g de fibra dietaria por porción; H3.0: Harina adicionada con 3.0 g de fibra dietaria por porción; H3.5: Harina adicionada con 3.5 g de fibra dietaria por porción; H4.0: Harina adicionada con 4.0 g de fibra dietaria por porción.

V.2.8. Caracterización química de las harinas para “hot cakes” libres de gluten adicionados con fibra de cáscara de aguacate cv. ‘Hass’

Para el análisis químico de la muestra vegetal se siguieron las metodologías descritas por AOAC (Horwitz & AOAC International, 2002).

V.2.8.1. Determinación de humedad

El porcentaje de humedad fue determinado mediante el método 925.23 (AOAC). Se tomaron 3 g de la muestra y se colocaron en crisoles de porcelana secos y previamente tarados. Posteriormente fueron colocados en estufa a 130 °C por 3 h. Pasado ese tiempo se colocaron los crisoles con la muestra en desecador hasta alcanzar temperatura ambiente, para finalmente pesar y determinar el porcentaje de humedad por la diferencia entre el peso inicial y el peso de la muestra deshidratada mediante la ecuación siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P_i + P_m) - P_f}{P_m} \times 100$$

Donde:

Pi: Peso inicial del crisol a peso constante (g)

Pm: Peso de la muestra (g)

Pf: Peso final del crisol con la muestra deshidratada (g)

V.2.8.2. Determinación de proteínas

La determinación de proteínas se realizó siguiendo el método 920.15 (AOAC). En un tubo Kjeldahl se colocaron 0.5 g de muestra al que se le agregó una pastilla de catalizador (sulfato de cobre y sulfato de potasio) y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. Un blanco fue preparado de la misma forma, en ausencia de muestra. Se colocaron los tubos en el digestor empleando una rampa de temperatura por 1 h hasta apreciar una coloración verde translúcido en la muestra. Se procedió a realizar la destilación del tubo Kjeldahl, para lo cual se le adicionaron 50 mL de hidróxido de sodio al 32 % v/v y se dejó destilar hasta obtener un volumen aproximado de 150 mL el cual se recibió en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, que contenía 60 mL de ácido bórico rojo de metilo y verde de bromocresol como indicadores.

Finalmente, se tituló la mezcla con ácido clorhídrico (0.1 N) y se determinó el nitrógeno total multiplicado por el factor de conversión equivalente al porcentaje de proteína presente en este alimento (6.25). Los resultados se obtuvieron a partir de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(A - B)C}{D} \times 1.401$$

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6.25$$

Donde

A: Volumen de HCl_(ac) consumido para titular la muestra (mL)

B: Volumen de HCl_(ac) consumido para titular el blanco (mL)

C: Concentración del HCl_(ac) (Normalidad)

D: Peso de la muestra (g)

V.2.8.3. Determinación de lípidos

Los lípidos totales se determinaron mediante el método 920.39 (AOAC). En un cartucho de papel de filtro se colocaron 1 g de muestra para ser colocado en el

compartimiento de extracción de Goldfish, donde se dispuso un vaso a peso constante, al cual se le adicionó éter de petróleo hasta completar 1/5 partes de su volumen. Se dejó la extracción por un tiempo de 4 h. Transcurrido la totalidad del tiempo de extracción se recuperó el vaso el cual se puso a secar en estufa al 70 °C con la finalidad de retirar los residuos de solvente. Finalmente se colocó el vaso en un desecadora hasta lograr temperatura ambiente para ser pesado. Los resultados de lípidos totales se determinaron empleando la siguiente formula:

$$\% \text{ Lípidos} = \frac{(P_i + P_m) - P_f}{P_m} \times 100$$

Donde:

P_i: Peso inicial del vaso a peso constante (g)

P_m: Peso de la muestra (g)

P_f: Peso final del vaso con los lípidos (g)

V.2.8.4. Determinación de cenizas

El contenido de cenizas se determinó siguiendo el método 945.46 (AOAC). Se emplearon 3 g de muestra, los cuales se colocaron en crisoles de porcelana a peso constante. Las muestras se calcinaron primero en una plancha de calentamiento hasta que todo el humo hubiera finalizado. Posteriormente, se introdujeron en una mufla a temperatura de 550 °C hasta obtener cenizas de color blanco o gris claro. Finalmente se colocaron los crisoles en desecadores hasta alcanzar temperatura ambiente y se pesaron; el procedimiento se repitió hasta obtener un valor de peso constante. Por diferencia de pesos se calculó el porcentaje de cenizas empleando la siguiente formula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P_i + P_m) - P_f}{P_m} \times 100$$

Donde:

P_i: Peso inicial del crisol a peso constante (g)

Pm: Peso de la muestra (g)

Pf: Peso final del crisol con las cenizas (g)

V.2.8.5. Determinación de Carbohidratos

Se determinarán por diferencia de peso.

V.2.8.6. Determinación de fibra total dietaria

V.2.8.6.1. Fibra dietaria insoluble

Esta determinación se realizó siguiendo la metodología propuesta por Shiga *et al.* (2003). Se pulverizó y desgrasó la muestra, a la cual se le adicionaron 50 mL de buffer de fosfato (0.08 M, pH: 6), y seguidamente 100 µL de la enzima α-amilasa termoestable, se cubrió con un papel de aluminio con el objetivo de protegerlo de la luz, la mezcla se incubó en baño maría a 95 °C por 30 min con agitación cada 5 min, se atemperó y se ajustó el pH a 7.5 con NaOH (0.275 N). Se continuó adicionando 100 µL de proteasa (50 mg/mL) y se incubó a 60°C por 30 min con agitación continua a 20 rpm, se atemperó nuevamente y se ajustó el pH a 4.5 con HCl (0.325 N). Finalmente se adicionó 300 µL de amiloglucosidasa y se incubó a 60 °C por 30 min con agitación continua a 20 rpm atemperando. Después de incubarse se filtró con papel Whatman No. 4 a peso constante, y se realizaron dos lavados con 15 mL de agua destilada a 60 °C. El filtrado obtenido después de los dos lavados se recuperó y almacenó para determinación de fibra soluble, como se describe más adelante. Por otro lado, el papel filtro junto con la muestra se secó en una estufa a no más 60 °C por 24 h, hasta peso constante y finalmente se pesó. La fibra insoluble fue el remanente en el filtro. Los resultados se expresaron en porcentaje de base seca por g de muestra mediante las siguientes formulas:

$$\% FDI = \frac{\text{Papel con muestra} - \text{Papel inicial}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

V.2.8.6.2. Fibra dietaria soluble

De la determinación anterior (fibra dietaria insoluble), se conservó el residuo del filtrado, al cual se le adicionó etanol al 80 % v/v en una proporción 1:1 v/v, y se dejó reposar por 24 h hasta obtener un precipitado. El precipitado se filtró con papel Whatman No. 42 hasta lograr peso constante, se lavó en dos ocasiones con 15 mL de acetona al 80%. Se dejó secar el papel filtro a una temperatura de 60 °C por 24 h hasta peso constante. Finalmente se pesó el papel filtro, siendo su contenido la fibra soluble. Los resultados se expresaron en porcentaje de base seca por gramo de muestra mediante la siguiente formula:

$$\% FDS = \frac{\text{Papel con muestra} - \text{Papel inicial}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

V.2.9. Distribución del tamaño de partícula

La distribución del tamaño de partícula fue realizada empleando un juego de tamices de mallas 20, 40, 50, 60, 80, 100. Se tomaron 10 g de harina, la cual se tamizó durante 15 min con agitación hasta lograr la separación según el tamaño de partícula. De cada malla se recolectó la muestra y se calculó el porcentaje del peso inicial que retenido en cada malla.

V.2.10. Determinación de la capacidad de absorción de agua y de aceite

Para ambos ensayos se siguieron las mismas metodologías propuestas para la fibra dietaria (Ver V.2.6.2 y V.2.6.3)

V.2.11. Análisis microbiológico

La calidad microbiológica del producto final constó de un análisis microbiológico por el laboratorio LECRIMA-UAQ (Laboratorio para la evaluación y control de riesgos microbianos en alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro) que incluyó los siguientes ensayos: conteo de bacterias mesófilas aerobias en placa, conteo de microorganismos coliformes totales en placa y conteo de mohos y levaduras en alimentos, de acuerdo a lo descrito en las normas NOM-092-SSA1-1994, NOM-111-SSA1-1994 y NOM-113-SSA1-1994 cumpliendo así los análisis

establecidos NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos.

V.2.12. Elaboración de “*hot cakes*” a partir de la harina formulada

Los “*hot cakes*” fueron elaborados en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro, en la Planta piloto del programa de Posgrado en Alimentos, siguiendo las buenas prácticas de manufactura que marca la NOM-120-SSA1-1994 y en conformidad con la NOM-247-SSA1-2008.

Se realizaron en base a una receta casera con modificaciones. Se emplearon 100 g de harina para “*hot cakes*” enriquecida con fibra de aguacate ‘Hass’ a la cual se le añadieron aproximadamente 120 mL de agua, 10 mL de saborizante (mantequilla, DEIMAN), 10 mL de aceite vegetal, 4.5 mL de vinagre y 1 huevo entero.

Se tomaron 15 mL de la mezcla por vez y se distribuyeron sobre un sartén caliente ayudados de un molde. Una vez aparecieron las burbujas se volteó el “*hot cake*” hasta su completa cocción por ambos lados.

Las harinas y otros ingredientes empleados para la elaboración de los “*hot cakes*”, fueron obtenidos de marcas comerciales libres de gluten.

V.2.13. Determinación de las propiedades físicas de los “*hot cakes*” libres de gluten adicionados con fibra de cáscara de aguacate cv. ‘Hass’

V.2.13.1. Determinación de dimensiones y el peso de los “*hot cakes*”

Se determinaron las dimensiones de los “*hot cakes*” elaborados de forma manual por triplicado con ayuda de un vernier. Además, se determinó igualmente el peso de los mismos.

V.2.13.2. Volumen específico

La medición del volumen específico (VE) se realizó después de una hora haber sido cocidos por completo los “*hot cakes*”. Se determinó mediante el método de desplazamiento de semillas al colocar el “*hot cake*” en el volumenómetro.

Este parámetro se determinó midiendo el volumen de las semillas desplazados por el espacio ocupado por el pan. El volumen específico del “*hot cake*” se calculó empleando la siguiente ecuación:

$$VE = V_{neto} (HC) / P(HC)$$

Donde:

V_{neto}: Volumen neto del “*hot cake*”

P: Peso del “*hot cake*”

V.2.13.3. Análisis de perfil de textura (TPA)

El perfil de textura se determinó empleando el texturómetro (Brookfield CT3, Metek), empleando la metodología propuesta por Cho *et al.* (2019) con modificaciones: velocidad del cabezal 1 mm/s, porcentaje de compresión de 15 % y los intervalos entre las 2 compresiones de 5 s. Se empleó además una celda de carga de 25 kg.

De esta manera se evaluaron los parámetros de dureza, elasticidad, cohesividad y gomosidad a partir de los datos fuerza vs tiempo. Se calculó la dureza como la fuerza máxima en la primera compresión, la elasticidad como la distancia que recupera el producto en la segunda compresión, la cohesividad se calculó como el trabajo necesario para comprimir la muestra por segunda vez respecto al que fue necesario para comprimir la primera vez y finalmente la gomosidad se obtuvo a partir del producto de la dureza por la cohesividad. Cada determinación se realizó por triplicado.

V.2.14. Análisis sensorial

Se realizó una evaluación sensorial integrada por 60 panelistas no entrenados, en un rango de edades entre 18 y 60 años. El número de participantes se determinó debido a que es el tamaño mínimo de un panel sensorial para evaluar la aceptabilidad de un producto (Portero, 2018).

El reclutamiento de los jueces se llevó a cabo mediante la difusión de la invitación a participar en la evaluación sensorial entre la comunidad universitaria que cumpla con los siguientes criterios de inclusión: personas sanas no entrenadas, sin exclusión de género en un rango de 18-60 años y con aptitud para comunicarse y describir sensaciones percibidas. Fueron excluidos del estudio las personas que posean alguno de los siguientes criterios: personas que presenten reacciones alérgicas a alguno de los ingredientes antes descritos o que presenten algún padecimiento que les impida su apreciación sensorial.

Como parte del procedimiento inicialmente, se le leyó al panelista el consentimiento informado, antes de brindar los alimentos a probar. En caso de estar de acuerdo con la información presentada se procedió a llenar los datos correspondientes en el documento entregado tales como; fecha, edad y sexo. Seguido del llenado de estos datos personales, se evaluaron 2 pruebas: preferencia y agrado empleando una escala hedónica, en esta seleccionó las escalas de acuerdo con su preferencia por la formulación. En caso de no querer ser partícipe del estudio firmaron con la presencia de 2 testigos una carta de revocación del consentimiento informado.

Para el primer análisis se les proporcionó a los panelistas 1 muestra de cada formulación con un código aleatorio conformado con 3 números aleatorios. Es importante recalcar que, entre cada muestra, el panelista debió tomar agua para limpiar su paladar.

La escala hedónica de 9 puntos empleada fue la siguiente:

1. Me disgusta muchísimo
2. Me disgusta mucho

3. Me disgusta bastante
4. Me disgusta ligeramente
5. Ni me gusta ni me disgusta
6. Me gusta ligeramente
7. Me gusta bastante
8. Me gusta mucho
9. Me gusta muchísimo

Se les pidió a los participantes que observen, huelan y prueben el alimento y califiquen la aceptación. Los parámetros a evaluar fueron: color, olor, sabor, textura y apariencia general.

La prueba de preferencia consistió en ordenar de forma decreciente las formulaciones según el agrado general de las mismas. Además, fue evaluada la intención de compra de las formulaciones.

V.2.15. Análisis estadístico

Para las determinaciones nutrimentales, nutraceúticas y fisicoquímicas, los resultados fueron expresados como la media \pm desviación estándar. Para todas estas determinaciones se realizaron 3 réplicas independientes. Se realizó una prueba de análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) y las diferencias entre medias se analizaron por la prueba estadística Tukey-Kramer. Se estableció que hubo diferencia significativa si $p < 0.05$.

Para el análisis sensorial la unidad experimental fue de 1 “*hot cake*” por cada formulación. Las variables evaluadas fueron: olor, color, sabor, textura y apariencia general. Para el análisis estadístico se utilizó la prueba de Chi Cuadrado.

Para todas las pruebas estadísticas se empleó el software estadístico Minitab v. 17.0 (SAS, Cary, Estados Unidos).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VI.1. Caracterización química de las cáscaras de aguacate 'Hass'

Los resultados de los parámetros químicos en base seca de las cáscaras de aguacates en diferentes estados de madurez se muestran en la Tabla 6. Durante la maduración se activan diferentes procesos metabólicos en todos los tejidos vegetales que involucran reacciones químicas y bioquímicas dentro del fruto dando lugar a cambios en la composición química durante las diferentes etapas de madurez (Alkaltham *et al.*, 2021).

Tabla 6. Composición química de la cáscara de aguacate 'Hass' en diferentes estados de madurez.

PARÁMETRO	MUESTRA		
	CAI	CAM	CASM
Humedad total*	75.25 ± 0.79 ^c	80.40 ± 0.41 ^a	77.48 ± 0.34 ^b
Proteínas	8.93 ± 0.43 ^a	8.89 ± 0.09 ^a	8.51 ± 0.09 ^a
Lípidos	10.47 ± 0.32 ^a	10.52 ± 0.38 ^a	9.67 ± 0.21 ^b
Cenizas	3.39 ± 0.03 ^a	3.51 ± 0.04 ^a	3.41 ± 0.05 ^a
Carbohidratos	77.21 ± 0.23 ^b	77.08 ± 0.50 ^b	78.40 ± 0.21 ^a
Fibra dietaria total	61.33 ± 0.75 ^b	66.89 ± 0.32 ^a	66.62 ± 0.31 ^a
Fibra dietaria insoluble	53.10 ± 0.24 ^c	62.86 ± 0.50 ^a	61.47 ± 0.29 ^b
Fibra dietaria soluble	8.23 ± 0.60 ^a	4.03 ± 0.22 ^c	5.16 ± 0.33 ^b

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes expresados como porcentaje en base a materia seca. El contenido proteico fue calculado como el contenido de nitrógeno multiplicado por el factor 6.25. Las medias en un mismo renglón con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey. CAI (Cáscara de aguacate inmaduro); CAM (Cáscara de aguacate maduro); CASM (Cáscara de aguacate sobremaduro). *Base Húmeda

Se encontraron diferencias significativas entre todas etapas de maduración en el contenido de humedad. En una primera etapa este se incrementa en un 6.40 % y para el final de la maduración disminuye en un 3.63 %. La deshidratación que ocurre en la cáscara se deriva del aumento de la tasa de respiración al final de la maduración como medida de barrera natural del fruto frente a patógenos, cambios climáticos y otros factores externos (Sánchez-Quezada *et al.*, 2021). Saavedra *et al.* (2017) y García-Vargas *et al.* (2021) reportaron valores similares para la humedad de cáscaras de aguacates maduros de 72.15 y 71 % respectivamente.

No se encontraron diferencias significativas en la composición proteica entre los diferentes estados de madurez (8.51-8.93 %) y estos resultados coinciden con el intervalo reportado por otros autores como Bressani (2009) y Permal *et al.* (2020) quienes reportaron 8.28 y 8.1 % respectivamente.

En cuanto al contenido lipídico de la cáscara, se observó una menor concentración en el estado sobremaduro comparado con el maduro de un 8.08 %. Esta disminución podría estar asociada a la formación de complejos con carbohidratos u otras macromoléculas, lo cual podría causar una menor cuantificación de estos o al propio consumo metabólico del fruto. Bressani (2009) y Velderrain-Rodríguez *et al.* (2021b) reportaron valores en el rango de 9.14 y 7.68 % respectivamente, muy semejantes a los valores encontrados en este trabajo. Pedreschi *et al.* (2019) describe que el contenido de lípidos en la cáscara de diferentes variedades de aguacates está conformado mayoritariamente por ácidos grasos monoinsaturados y la mayor parte son sintetizados durante las primeras etapas de desarrollo hasta su cosecha. Por esta razón se sugiere que el contenido no se modifica de manera importante durante la maduración comercial del fruto.

De igual forma, no se encontraron cambios significativos en el contenido de cenizas de la cáscara con la maduración del fruto. Estos resultados se encuentran dentro del intervalo reportado para cáscara de aguacate maduro de la misma variedad entre 2.00 y 3.57 % (Araujo *et al.*, 2021; Del Castillo-Llamosas *et al.*, 2021; Morais *et al.*, 2016). Estos porcentajes se atribuyen principalmente a la presencia de potasio, calcio, magnesio y sodio (Morais *et al.*, 2016).

No existen diferencias estadísticas grandes en cuanto a la composición de carbohidratos pues estos se incrementan ligeramente en un 1.68 % en el último estado de madurez, esto podría asociarse a la disminución del contenido lipídico. Estos resultados son similares a lo reportado por Salmeron-Ruiz (2014) con un 71.36 % y Colombo & Papetti (2019) presentando un rango de 62 a 73.3 %. Por otra parte, la fibra dietaria total mostró un incremento de un 8.31 % en el estado maduro con respecto al inmaduro, probablemente debido al incremento de la fibra dietaria insoluble en un 15.53 %, la cual solo disminuye en un 2.21 % al final de la

maduración. También estos porcentajes son similares al reportado por Araujo *et al.* (2021) con un 67.80 % y se encuentran ligeramente superiores a lo encontrado por Morais *et al.* (2016) los cuales reportaron un 43.9 %. Por otra parte, la fibra soluble disminuye inicialmente en un 51 % durante la primera etapa de maduración y se incrementa ligeramente durante la segunda. Los valores encontrados en esta investigación fueron ligeramente inferiores a lo reportado por Salmeron-Ruiz (2014) quien cuantificó un 7.46 % de fibra soluble. Esta disminución está asociada a la degradación de la pectina que ocurre dentro de la lámina media de la pared celular, proceso natural esencial en el ablandamiento del fruto durante la maduración (Jia *et al.*, 2023).

Todas las variaciones en los parámetros medidos en la composición y el estado de madurez se pueden atribuir a los cambios bioquímicos y a fisiológicos que ocurren con la activación del metabolismo en todos los tejidos del fruto durante la maduración (Kolodyaznaya *et al.*, 2020).

VI.2. Composición fitoquímica y capacidad antioxidante de cáscara de aguacate ‘Hass’ en diferentes estados de madurez

VI.2.1. Compuestos bioactivos

VI.2.1.1. Compuestos fenólicos

Los cambios en la composición fitoquímica de la cáscara de aguacate ‘Hass’ durante la maduración del fruto se muestra en la Tabla 7. Donde se observó que La madurez del fruto no solo es determinante en la composición química de los tejidos, sino que tiene una influencia directa en los compuestos bioactivos presentes en ellos.

Se encontraron diferencias significativas entre los estados de madurez para todos los compuestos bioactivos analizados. La mayor proporción de los compuestos fenólicos se encontraban de forma libre (70-76 %) y solo una pequeña porción se encontraba ligada (24-30 %). Los compuestos fenólicos ligados están unidos a macromoléculas de la pared celular mediante enlaces covalentes por lo cual

requiere de tratamientos más exhaustivos y agresivos para su extracción y cuantificación lo que pudiera resultar en una subestimación de los mismos (Rocchetti *et al.*, 2022). El estado maduro (CAM) presentó una disminución los compuestos fenólicos de un 40.55 % y un 49.41 % (libres y ligados respectivamente) con respecto al estado inmaduro.

Tabla 7. Composición fitoquímica de la cáscara de aguacate 'Hass' en diferentes estados de madurez

COMPONENTES	MUESTRA			
	CAI	CAM	CASM	
CFT (mg EAG/g)	Libres	108.30 ± 6.83 ^b	64.38 ± 4.05 ^c	125.6 ± 3.20 ^a
	Ligados	45.27 ± 0.84 ^a	22.25 ± 0.10 ^c	42.42 ± 0.55 ^b
	Totales	153.58 ± 7.45 ^b	87.28 ± 3.35 ^c	168.02 ± 3.28 ^a
FT (mg ER/g)	Libres	14.00 ± 0.26 ^b	11.25 ± 0.52 ^c	18.08 ± 0.52 ^a
	Ligados	8.37 ± 0.10 ^a	4.59 ± 0.22 ^b	8.24 ± 0.13 ^a
	Totales	22.37 ± 0.36 ^b	15.85 ± 0.50 ^c	26.32 ± 0.51 ^a
TCT (mg EC/g)	Libres	373.61 ± 2.56 ^b	149.07 ± 0.69 ^c	416.03 ± 5.95 ^a
	Ligados	0.44 ± 0.03 ^a	0.18 ± 0.01 ^b	0.40 ± 0.00 ^a
	Totales	374.05 ± 2.53 ^b	149.25 ± 0.68 ^c	416.43 ± 5.95 ^a

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de dos experimentos independientes y están expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico (mg EAG), miligramos equivalentes de rutina (mg ER) o miligramos equivalentes de catequina (mg CE) por gramo de muestra seca. Las medias en un mismo renglón con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. CAI: Cáscara de aguacate inmaduro; CAM: Cáscara de aguacate maduro; CASM: Cáscara de aguacate sobremaduro. CFT: Compuestos fenólicos totales; FT: Flavonoides totales; TCT: Taninos condensados totales.

Por otra parte, la CASM presentó un incremento de 48.50 % y 46.01 % en las fracciones libres y ligadas respectivamente con respecto a la CAM. Esta tendencia descendente de forma inicial y ascendente al final de la madurez se ve reflejada

en el resto de compuestos fenólicos determinados. Los resultados de este trabajo coinciden con lo reportado por Nyoman *et al.* (2021) y Salazar-López *et al.* (2021) quienes informaron una concentración de 59.55 y 53.57 mg GAE /g respectivamente para cáscara de aguacates maduros.

Los flavonoides en esta matriz se encuentran mayoritariamente de forma libre (62-72 %) e igualmente sufren cambios en su concentración según el estado de madurez: Una disminución en una primera etapa de un 19.64 % para los libres y un 45.16 % para los ligados en la CAM con respecto a la CAI y un incremento en la CASM entre un 37 y un 45 % para ambas fracciones con respecto a la CAM.

Los taninos condensados o proantocianidinas son sustancias poliméricas derivadas de los flavonoides; este tipo de compuesto fue el encontrado mayor concentración en la cáscara de aguacate, con respecto al resto de los compuestos fenólicos, coincidiendo con lo reportado por Figueroa *et al.* (2018) quienes identificaron a este grupo químico como el mayoritario en este subproducto. Prácticamente la totalidad de estos compuestos se encuentran de forma libre y al igual que los componentes anteriores experimentan una disminución en las CAM con respecto a la CAI de un 60.10 % y un incremento en la CASM de 64.16 % con respecto a la CAM. Salazar-López *et al.* (2021) determinaron una concentración de 163.25 mg CE/g para taninos condensados en cáscara de aguacate maduro.

La disminución de compuestos fenólicos totales en la CAM con respecto a la CAI fue descrita por Al-Juhaimi *et al.* (2021) quienes encontraron que las cantidades eran menores en el estado maduro que en el inmaduro. Sin embargo, este comportamiento era dependiente del método de secado seleccionado. Esta tendencia puede estar asociada a que los mismos son degradados para la biosíntesis de otros compuestos o se asocian de forma covalente con otros componentes químicos de la célula vegetal (Alkaltham *et al.*, 2021; Arena *et al.*, 2012).

Por otra parte, el incremento en la CASM con respecto a la CAM de la presencia de estos compuestos podría deberse fundamentalmente a la síntesis de cianidina-3-O-glucósido la cual es una antocianina perteneciente al grupo de los flavonoides

y es responsable de la aparición de la pigmentación violeta oscura de la cáscara constituyendo hasta el 98 % de las antocianinas presentes en este material (Cox *et al.*, 2004; Ramos-Aguilar *et al.*, 2021). La concentración de estos compuestos se incrementa en la última etapa de madurez, incrementándose hasta en un 90 % con respecto al estado inmaduro.

VI.2.1.2. Saponinas totales

Es notable la presencia en este subproducto de una elevada concentración en de saponinas, fundamentalmente esteroidales, las cuales constituyen una defensa química natural de las plantas frente a patógenos. Las dosis reportadas en este trabajo para este subproducto se encuentran muy por debajo de las dosis tóxicas de este tipo de compuesto por lo cual el empleo en alimentos resulta seguro. Los valores reportados en este trabajo son superiores a los cuantificados para extractos metanólicos de cáscara de aguacate de origen asiático (8.87 ± 0.03 %) (Rahman *et al.*, 2022) aunque los autores no reportan la variedad ni el estado de madurez.

De igual forma son similares a los establecidos a las encontradas en otras especies vegetales como *Arachis hypogaea* y *Spinacea oleracea* (Nguyen *et al.*, 2020). Las saponinas muestran un decremento de un 27 % al incrementar la madurez del fruto, lo cual puede asociarse al incremento de la actividad enzimática en el fruto durante su maduración (fundamentalmente ubiquitina-ligasa) (Diaz Puentes, 2009).

Las saponinas se consideran de forma general como un compuesto antinutricio, sin embargo, estudios recientes destacan los diversos efectos benéficos que pueden llegar a presentar. Generalmente, son reconocidas como seguras cuando son ingeridas oralmente, debido a su baja capacidad para atravesar el torrente sanguíneo y cuando lo hacen su actividad hemolítica se ve disminuida por el resto de los componentes plasmáticos (Nguyen *et al.*, 2020). En 2017 Zhang *et al.* evaluaron la toxicidad de extractos de saponinas esteroidales, categorizándose como no tóxico ya que presentó una dosis letal 50 (DL₅₀) superior a 3000 mg/kg, lo

cual al compararlo con las concentraciones encontradas en la CAM implicaría el consumo de aproximadamente 200 g de cáscara en estado maduro seca e íntegra por kg de peso, valores muy por encima las adiciones realizadas a los “hot cakes” formulados en el presente trabajo.

Tabla 8. Concentración de saponinas presentes en la cáscara de aguacate 'Hass' en diferentes estados de madurez

Saponinas totales (mg DG/g)	MUESTRA		
	CAI	CAM	CASM
	19.74 ± 0.29 ^a	16.03 ± 0.78 ^b	14.34 ± 0.24 ^c

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como miligramos equivalentes de diosgenina (mg DG) por gramo de muestra seca. Las medias en un mismo renglón con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. CAI: Cáscara de aguacate inmaduro; CAM: Cáscara de aguacate maduro; CASM: Cáscara de aguacate sobremaduro.

VI.2.2. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de las cáscaras de aguacates en diferentes estados de madurez mostró diferencias significativas con respecto a los métodos estudiados (DPPH, ABTS y FRAP) (Tabla 9). Al igual que para la composición fitoquímica, la madurez de la cáscara tiene un papel determinante en esta propiedad.

Dentro de los resultados se observa que para el ensayo de DPPH la capacidad antioxidante de la fracción libre prácticamente no se modifica en entre los diferentes estados de madurez (diferencia menor a un 2 %) sin significancia estadística ($p > 0.05$). Sin embargo, la capacidad antioxidante de la fracción ligada experimenta un decrecimiento en la CAM con respecto a la CAI de un 23.48 % y un incremento de 14.97 % en la CASM con respecto a CAM siendo estos cambios significativos estadísticamente ($p < 0.05$). Así mismo, es importante señalar que, en correspondencia con los valores de compuestos fitoquímicos, la fracción libre presentó entre el 65 y 72 % de la capacidad antioxidante total por este método. Lo anterior se corresponde con lo reportado por Salazar-López *et al.* (2021) quienes reportaron una capacidad antioxidante de 683.19 $\mu\text{M ET/g}$ de muestra seca por esta metodología.

Por otra parte, el comportamiento de las muestras en el ensayo de ABTS+• fue similar a los resultados obtenidos en el ensayo de DPPH, donde la fracción libre experimentó una disminución de un 3.17 % en la primera etapa de madurez y un aumento en la segunda etapa de un 8.34 % ambos significativos. Los cambios de la fracción ligada fueron mayores: ocurre una disminución en la primera etapa de maduración de un 32.71 % y un incremento en la segunda de un 38.24 %. De igual forma la fracción libre presentó la mayor parte de la capacidad antioxidante por este método (60-70 %). Los resultados obtenidos por otros autores son superiores a lo reportado por este trabajo (Salazar-López *et al.*, 2021).

El ensayo de FRAP muestra que en el estado óptimo la capacidad antioxidante de la fracción libre disminuye un 9.39 % con respecto al estado inmaduro y se incrementa en el estado sobremaduro un 29.48 % con respecto al estado de madurez óptimo. La fracción ligada sigue el mismo comportamiento en diferentes porcentajes (17.83 % y 31.19 % respectivamente), ambos cambios significativos ($p < 0.05$). La fracción libre presentó entre un 70 y un 75 % de la capacidad antioxidante total por esta metodología. Igualmente, otros autores han reportado valores similares a los de este trabajo (Salazar-López *et al.*, 2021).

Tabla 9. Capacidad antioxidante de cáscara de aguacate en diferentes estados de madurez

Técnica		MUESTRA		
		CAI	CAM	CASM
DPPH	Libres	619.93 ± 0.54 ^b	628.89 ± 5.48 ^{ab}	633.37 ± 4.84 ^a
	Ligados	323.88 ± 4.98 ^a	247.84 ± 2.69 ^c	291.47 ± 7.07 ^b
	Totales	943.81 ± 5.40 ^a	876.74 ± 6.18 ^c	924.84 ± 8.70 ^b
ABTS	Libres	235.56 ± 2.15 ^b	228.07 ± 0.69 ^c	248.83 ± 1.23 ^a
	Ligados	148.16 ± 6.77 ^a	99.69 ± 6.41 ^b	161.42 ± 1.05 ^a
	Totales	383.72 ± 4.62 ^b	327.75 ± 7.09 ^c	410.25 ± 1.01 ^a
FRAP	Libres	449.05 ± 6.38 ^b	406.88 ± 5.84 ^c	576.99 ± 5.30 ^a

Ligados	172.39 ± 4.57 ^b	141.65 ± 3.26 ^c	205.85 ± 5.58 ^a
Totales	621.44 ± 9.65 ^b	548.53 ± 2.64 ^c	782.84 ± 2.62 ^a

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes, expresados como milimoles equivalentes de Trolox por gramo de materia seca. Las medias en un mismo renglón con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. CAI: Cáscara de aguacate inmaduro; CAM: Cáscara de aguacate maduro; CASM: Cáscara de aguacate sobremaduro.

Es importante señalar que varios autores ya han correlacionado de forma directa la capacidad antioxidante con la concentración de compuestos fenólicos presentes tanto en esta matriz como en otras similares (Araujo *et al.*, 2021; Sánchez-Quezada *et al.*, 2021).

Por lo cual se sugiere que la presencia de los compuestos fenólicos esté directamente relacionada con la capacidad antioxidante resultante de la matriz.

Para comprobar lo anterior se llevó a cabo la correlación de los resultados (ver **Tabla 10**). Para la cáscara de aguacate 'Hass' todos los coeficientes de correlación entre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante medida por los diferentes métodos fueron positivos y cercanos a 1. El método que mostró una mayor correlación directa fue el ensayo de ABTS+, lo cual puede ser indicativo del mecanismo por el cual la mayoría de estos compuestos ejercen su capacidad antioxidante.

Tabla 10. Coeficientes de correlación entre los compuestos fitoquímicos y la capacidad antioxidante de la cáscara de aguacate 'Hass'

	COEFICIENTES DE CORRELACIÓN		
	DPPH	ABTS	FRAP
CFT	0.902	0.988	0.842
FT	0.790	0.998	0.937
TCT	0.911	0.985	0.831

Las correlaciones fueron estimadas empleando el método de correlación de Pearson. CFT: Compuestos fenólicos totales; FT: Flavonoides totales; TCT: Taninos condensados totales.

VI.3. Obtención de fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass'

Existen una gran diversidad de métodos para la extracción de fibra dietaria a partir de matrices vegetales. Estos pueden clasificarse en según su naturaleza en físicos, químicos, físico-químicos, enzimáticos o biológicos. Se conoce que la

elección del método influye directamente en el rendimiento, composición, microestructura y propiedades tecno-funcionales que tendrá el aislado de fibra (Ding *et al.*, 2020b; Karra *et al.*, 2020).

VI.3.1. Tratamiento alcalino

El tratamiento alcalino es un método químico ampliamente utilizado en el cual se emplean generalmente hidróxidos como NaOH, KOH o Ba(OH)₂ en solución. Este método es capaz de liberar varios polisacáridos de la pared celular debido a la ruptura de varios enlaces covalentes y puentes de hidrógeno como los enlaces tipo éster entre la celulosa y la hemicelulosa solubilizando parte del material (Gil-López *et al.*, 2019; Tejada-Ortigoza *et al.*, 2016). Además, es capaz de solubilizar proteínas por desnaturalización y saponificar los lípidos, lo cual incrementa la pureza de la fibra obtenida (Karra *et al.*, 2020). Las principales variables a considerar son la concentración del álcali, el tiempo de extracción y la proporción entre la muestra y el solvente empleado (Al-Shaabi *et al.*, 2022; Devi *et al.*, 2023).

VI.3.1.1. Rendimiento de fibra dietaria y compuestos bioactivos asociados

El rendimiento de fibra dietaria obtenido por el tratamiento bajo diferentes condiciones de molaridad y proporción de solvente y se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Rendimiento de fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass' obtenida por tratamiento alcalino.

Muestra	Rendimiento (%)	Muestra	Rendimiento (%)
FA (0.2 M/ 10 mL)	74.35 ± 3.37 ^{ab}	FA (0.5 M/ 50 mL)	74.98 ± 0.75 ^{ab}
FA (0.2 M/ 25 mL)	79.12 ± 0.36 ^{ab}	FA (0.7 M/ 10 mL)	78.20 ± 0.35 ^{ab}
FA (0.2 M/ 50 mL)	74.18 ± 0.73 ^{ab}	FA (0.7 M/ 25 mL)	70.67 ± 1.09 ^{ab}
FA (0.5 M/ 10 mL)	73.35 ± 1.40 ^{ab}	FA (0.7 M/ 50 mL)	71.87 ± 5.72 ^{ab}
FA (0.5 M/ 25 mL)	81.30 ± 0.43 ^a		

Los resultados son el promedio \pm desviación estándar de tres experimentos independientes. Las medias con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. FA (Fibra alcalina). Los primeros dos dígitos en la muestra indican molaridad de NaOH y los otros dos la proporción de solvente empleado por gramo de muestra.

Se encontró solo un 10.63 % de diferencia entre el máximo y mínimo rendimiento sin diferencia significativa ($p < 0.05$). Cabe resaltar que hasta donde se ha revisado la literatura estos son los primeros datos en cáscara de aguacate. Para otras matrices se encontraron resultados similares, Wang *et al.* (2021) y Devi *et al.* (2023) quienes extrajeron fibra dietaria a partir de kiwi y semillas de calabaza de botella (*Lagenaria siceraria*), respectivamente, mediante tratamientos alcalinos y observaron que conforme incrementa la concentración de álcali el rendimiento de fibra dietaria va disminuyendo. Esta misma tendencia fue descrita por Huang *et al.* (2010) y Sun *et al.* (2018), autores que asocian este comportamiento a la degradación de los polisacáridos debido a la acción de las altas concentraciones de hidróxido de sodio sobre residuos de trigo y soya respectivamente. Igualmente se ha informado que mantener en niveles medios la proporción de solvente conduce a la obtención de un mayor rendimiento, esto debido a que el incremento de la superficie de contacto de entre la muestra y el disolvente permite una mayor difusión dentro de la muestra lo que se refleja en un mayor rendimiento (Devi *et al.*, 2023).

En cuanto a la composición fitoquímica (Figura 6) es importante destacar que el tratamiento alcalino disminuye de forma considerable la presencia de compuestos fenólicos en la cáscara de aguacate en estado maduro, esto se debe principalmente a la naturaleza altamente soluble y poco estable de este tipo de compuestos los cuales se caracterizan por ser sensibles a cambios de temperatura, pH, a la presencia de oxígeno, entre otros factores (Martini *et al.*, 2021). Los compuestos fenólicos totales disminuyen entre un 77 % y un 92 %; los flavonoides totales entre un 60 % y un 85 % y los taninos condensados entre un 95 % y un 99 %, siendo este el componente con la mayor pérdida durante la extracción ya que en su mayoría se encontraban en la fracción libre.

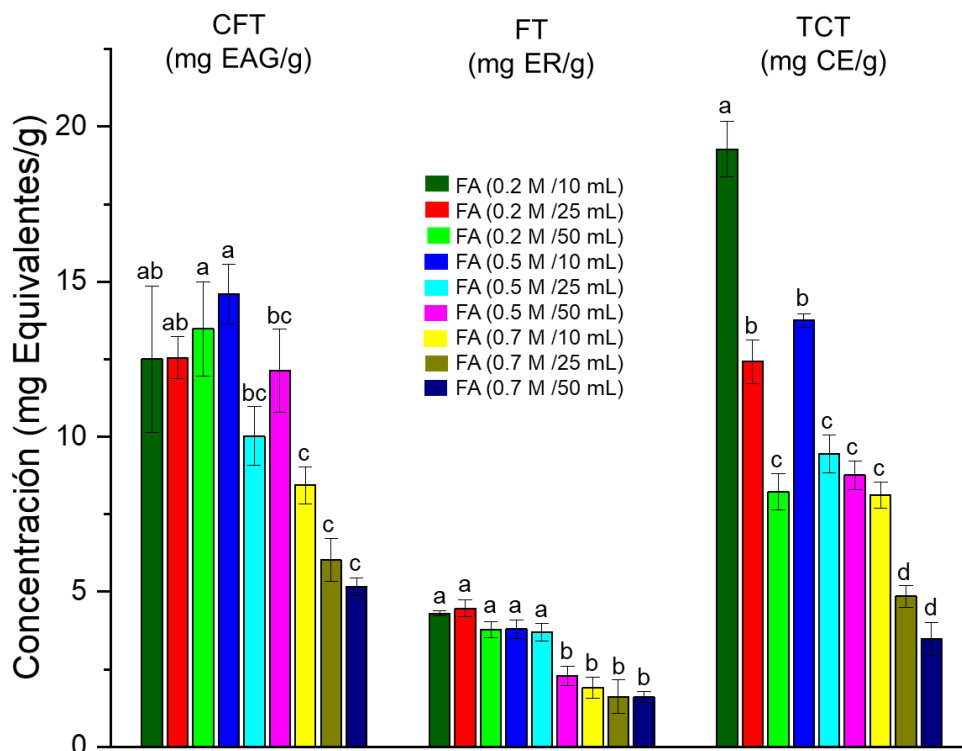


Figura 4. Composición fitoquímica de la fibra dietaria obtenida por el tratamiento alcalino. Los resultados son el promedio \pm desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico (mg GAE), miligramos equivalentes de rutina (mg RE) o miligramos equivalentes de catequina (mg CE) por gramo de materia seca. Las medias con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. CFT: Compuestos fenólicos totales; FT: Flavonoides totales; TCT: Taninos condensados totales.

El uso de molaridades elevadas de NaOH (0.7 M) condujo a la menor conservación de compuestos bioactivos, debido al elevado poder corrosivo y oxidante de este álcali que conlleva a la degradación de una mayor cantidad de compuestos. La condición con mejores resultados en la conservación de estos compuestos fue FA (0.5 M/ 10 mL), la cual, al no tener una concentración tan elevada y la proporción de solvente más pequeña, limita la solubilización y pérdida de los mismos en el medio de extracción.

VI.3.1.2. Capacidad antioxidante

Al igual que la presencia de compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante de las muestras disminuye significativamente con respecto a la matriz original al

aplicar el tratamiento alcalino para todas las condiciones probadas se observa en la Tabla 12. Los porcentajes de conservación de la capacidad antioxidante con respecto a la matriz original se encuentran entre un 3 y un 18 % para el método de DPPH; entre un 23 y un 28 % para el método ABTS (el de mejor porcentaje de conservación) y entre un 8 y un 22 % para el método FRAP. En este caso las mejores condiciones para este método de extracción igualmente fueron en las que se emplearon las menores concentraciones de solvente y menor proporción con respecto a la muestra. El aumento de las concentraciones de álcali (0.7M) al igual que para los compuestos fenólicos condujo a una disminución significativa de la capacidad antioxidante.

En otras matrices ha sido reportado el efecto del tratamiento alcalino sobre la actividad antioxidante de la fibra dietaria obtenida por este método. Alsafran *et al.* (2024) identificaron una reducción de un 74.9 % en la capacidad antioxidante de la fibra dietaria alcalina obtenida a partir de *Pulicaria undulata* por el método de ABTS, esto debido a la solubilización de parte de los compuestos responsables de esta actividad en el medio de extracción.

Hasta el momento no se han reportado datos en la literatura referente a la capacidad antioxidante de fracciones de fibra dietaria de cáscara de aguacate obtenidas tratamientos alcalinos. Sin embargo, es importante resaltar que pese a la agresividad de este solvente (NaOH) la conservación de la capacidad antioxidante resultó prometedora.

Tabla 12. Capacidad antioxidante de fibras dietarias alcalinas obtenidas bajo diferentes condiciones

Muestra	DPPH (mmol ETrolox/g)	ABTS (mmol ETrolox/g)	FRAP (mmol ETrolox/g)
FA (0.2 M/ 10 mL)	108.12 ± 2.93 ^a (17.19 %)	85.08 ± 1.29 ^{ab} (37.30 %)	86.17 ± 1.22 ^a (21.18 %)
FA (0.2 M/ 25 mL)	71.47 ± 5.47 ^b (11.36 %)	76.96 ± 4.43 ^b (33.74 %)	74.00 ± 1.06 ^b (18.19 %)
FA (0.2 M/ 50 mL)	68.12 ± 2.84 ^b (10.83 %)	77.99 ± 6.41 ^b (34.20 %)	65.39 ± 1.68 ^c (16.07 %)

FA (0.5 M/ 10 mL)	67.14 ± 4.45 ^b (10.68 %)	90.87 ± 2.92 ^a (39.84 %)	91.51 ± 2.67 ^a (22.49 %)
FA (0.5 M/ 25 mL)	39.61 ± 5.72 ^c (6.30 %)	75.95 ± 1.74 ^b (33.30 %)	67.83 ± 2.49 ^{bc} (16.67 %)
FA (0.5 M/ 50 mL)	27.83 ± 4.02 ^{cd} (4.43 %)	63.16 ± 4.53 ^c (27.69 %)	43.63 ± 3.50 ^d (10.72 %)
FA (0.7 M/ 10 mL)	22.55 ± 4.06 ^d (3.59 %)	57.81 ± 2.74 ^c (25.35 %)	44.85 ± 2.86 ^d (11.02 %)
FA (0.7 M/ 25 mL)	ND	55.15 ± 0.66 ^c (24.18 %)	36.49 ± 3.76 ^e (8.97 %)
FA (0.7 M/ 50 mL)	ND	53.25 ± 3.01 ^c (23.35 %)	35.31 ± 1.03 ^e (8.68 %)

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como μ moles equivalentes de Trolox (TEAC) por gramo de materia seca. Las medias en una misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. FA (X/Y): Fibra alcalina (Molaridad de NaOH/Proporción de solvente por gramo de muestra)

A partir de los resultados anteriores se seleccionaron únicamente las condiciones FA (0.2 M/ 50 mL); FA (0.5 M/10 mL); FA (0.5 M/ 25 mL) para la determinación de composición de saponinas y propiedades tecno-funcionales ya que estas presentaron los mejores resultados de rendimiento, composición química y fitoquímica.

VI.3.2. Tratamiento ultrasónico

El tratamiento ultrasónico es una de las tecnologías emergentes más empleadas en la actualidad para la extracción de fibra dietaria a partir de diferentes matrices alimenticias (Karra *et al.*, 2020). Esta tecnología es capaz de generar ciclos cortos de altas y bajas presiones en el medio creando microburbujas que estallan de forma violenta, fenómeno conocido como cavitación. Las fuerzas de corte generadas por este proceso permiten una mayor penetración del solvente en la matriz y una mayor disrupción de los componentes de la pared de las células vegetales, liberándolos de una forma más eficiente (Tejada-Ortigoza *et al.*, 2016).

VI.3.2.1. Rendimiento de fibra dietaria y compuestos bioactivos asociados

El rendimiento de fibra dietaria obtenida mediante el tratamiento ultrasónico de las muestras se muestran en la Tabla 13.

Los resultados muestran que no existieron diferencias entre la mayoría de los tratamientos en el rendimiento de fibra dietaria alcanzado. Solo existió un 8.62 % entre el máximo y el mínimo rendimiento, mostrando la similitud de los resultados y la poca influencia de cada parámetro individual en el resultado. Sin embargo, es importante resaltar que los resultados de rendimiento obtenidos empleando la amplitud de 50 % fueron ligeramente inferiores a los obtenidos en sus similares con la amplitud del 20 % esto probablemente debido a que amplitudes de ultrasonido superiores a 35 % pueden provocar formación excesiva de burbujas en el disolvente, por lo tanto, limita la eficiencia de la transmisión de energía en el medio; reduciendo el rendimiento de extracción (Devi *et al.*, 2023).

Tabla 13. Rendimiento de la fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass' obtenida por tratamiento ultrasónico.

Condiciones	Rendimiento (%)		
	Muestras (10')	Muestras (25')	Muestras (40')
FU (10 mL/20%)	82.40 ± 0.92 ^a	82.10 ± 0.51 ^{ab}	81.62 ± 0.88 ^{a-c}
FU (10 mL/50%)	81.24 ± 0.84 ^{a-c}	81.06 ± 0.42 ^{a-c}	80.16 ± 0.24 ^{a-d}
FU (25 mL/20%)	78.25 ± 0.25 ^{a-f}	77.85 ± 1.16 ^{b-f}	77.43 ± 0.28 ^{c-f}
FU (25 mL/50%)	73.78 ± 1.21 ^f	74.98 ± 0.92 ^{ef}	75.80 ± 1.53 ^{d-f}
FU (40 mL/20%)	78.51 ± 0.28 ^{a-e}	75.70 ± 0.59 ^{d-f}	75.69 ± 0.67 ^{d-f}
FU (40 mL/50%)	74.34 ± 0.96 ^{ef}	74.50 ± 2.13 ^{ef}	74.06 ± 2.78 ^{ef}

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes. Las medias con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. FU (X/Y): Fibra ultrasónica (Proporción de solvente por gramo de muestra/amplitud).

Cinco de las 18 condiciones ensayadas presentaron un resultado similar al máximo obtenido por el tratamiento alcalino, lo cual implica una mejora

considerable en cuanto al uso de reactivos ya que, en esta técnica solo se emplea agua.

De igual forma, aunque sin ser significativas las diferencias, proporciones de solventes y tiempos de extracción mayores, condujeron un rendimiento ligeramente menor probablemente asociado a una mayor solubilización de componentes de la matriz, lo cual es similar a lo reportado por otros autores (Ibrahim *et al.*, 2024). Un comportamiento similar fue descrito por Wang *et al.* (2013) quienes asociaron este comportamiento a probable destrucción y degradación de los polisacáridos bajo la acción cortante de la onda ultrasónica por periodos de tiempo prolongados.

Con respecto a la composición fitoquímica (Tabla 14), es importante señalar que al igual que el tratamiento alcalino el tratamiento asistido por ultrasonidos produce una disminución significativa en la presencia de compuestos fenólicos. De forma particular los CFT disminuyen entre un 32 y 85 %, los FT entre un 21 y 82 % y los TCT entre un 62 y 90 % para todas las condiciones evaluadas en este proyecto. La proporción entre compuestos fenólicos totales libres y ligados fue diferente para cada una de las condiciones probadas, llegado la fracción libre a representar entre un 18 y un 73 % del total. Las condiciones que conservaron una mayor concentración de compuestos fenólicos fueron aquellas con un tratamiento de 40 minutos. Este comportamiento se ha asociado a que el proceso de cavitación permitió una mayor ruptura de los componentes de la pared celular y por lo tanto una mayor liberación de estos compuestos, por lo cual su biodisponibilidad también se incrementó (Sun *et al.*, 2018). Además, este método condujo a una mejor conservación de los compuestos fenólicos que el método alcalino debido a la ausencia de un agente oxidante como el NaOH.

Tabla 14. Composición fitoquímica de fibras dietarias obtenidas por método asistido por ultrasonidos

Condiciones	CFT (mg EAG/g)
-------------	----------------

	Muestras (10')	Muestras (25')	Muestras (40')
FU (10 mL/20%)	23.36 ± 0.48 ^{hi}	29.55 ± 0.58 ^f	46.68 ± 0.83 ^d
FU (10 mL/50%)	41.07 ± 0.92 ^e	27.33 ± 0.38 ^{fg}	58.68 ± 1.40 ^a
FU (25 mL/20%)	25.58 ± 0.34 ^{gh}	22.16 ± 0.55 ⁱ	49.26 ± 1.50 ^{bc}
FU (25 mL/50%)	23.13 ± 0.43 ⁱ	13.51 ± 0.03 ^k	46.74 ± 0.45 ^d
FU (40 mL/20%)	15.12 ± 0.53 ^k	21.54 ± 1.09 ⁱ	47.20 ± 1.00 ^{cd}
FU (40 mL/50%)	17.48 ± 0.57 ^j	23.46 ± 0.07 ^{hi}	51.13 ± 0.50 ^b
	FT (mg ER/g)		
FU (10 mL/20%)	4.44 ± 0.03 ^{gh}	5.54 ± 0.04 ^e	10.09 ± 0.09 ^{bc}
FU (10 mL/50%)	10.08 ± 0.26 ^{bc}	4.96 ± 0.02 ^f	12.51 ± 0.27 ^a
FU (25 mL/20%)	4.70 ± 0.08 ^{fg}	4.29 ± 0.07 ^{gh}	9.41 ± 0.15 ^d
FU (25 mL/50%)	4.58 ± 0.06 ^{fg}	2.86 ± 0.27 ^j	9.28 ± 0.06 ^d
FU (40 mL/20%)	3.25 ± 0.03 ^{ij}	3.54 ± 0.31 ⁱ	10.15 ± 0.04 ^b
FU (40 mL/50%)	4.05 ± 0.08 ^h	4.32 ± 0.03 ^{gh}	9.69 ± 0.07 ^{cd}
	TCT (mg EC/g)		
FU (10 mL/20%)	25.79 ± 0.35 ^{fg}	33.76 ± 0.45 ^d	55.12 ± 2.39 ^a
FU (10 mL/50%)	44.40 ± 1.57 ^b	33.69 ± 0.87 ^d	55.44 ± 1.37 ^a
FU (25 mL/20%)	28.54 ± 0.33 ^f	17.93 ± 0.83 ^{ij}	28.71 ± 1.69 ^{ef}
FU (25 mL/50%)	21.97 ± 0.34 ^{gh}	6.07 ± 0.54 ^l	38.42 ± 1.61 ^c
FU (40 mL/20%)	13.59 ± 1.06 ^k	16.41 ± 1.93 ^{jk}	16.41 ± 1.93 ^{jk}
FU (40 mL/50%)	13.91 ± 1.08 ^k	20.41 ± 2.26 ^{hi}	20.41 ± 2.26 ^{hi}

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico (mg EAG), miligramos equivalentes de rutina (mg ER) o miligramos equivalentes de (+)-catequina (mg EC) por gramo de materia seca. Las medias en una misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey. CFT (Compuestos fenólicos totales); FT (Flavonoides totales); TCT (Taninos condensados totales).

VI.3.2.2. Capacidad antioxidante

Los resultados de la capacidad antioxidante de las muestras se muestran en la Tabla 15.

Las conservaciones de la capacidad antioxidante por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP respectivamente de las fibras dietarias obtenidas por el método ultrasónico con respecto a la cáscara de aguacate maduro sin tratar, se encontraron entre un 6 - 31 %, entre 21 - 53 % y entre 30-100 % para las diferentes condiciones, resultando superior en un 34.05 %, 47.01 % y 21.48 % con respecto a la extracción alcalina, respectivamente, comportamiento similar a la conservación de los compuestos bioactivos.

Tabla 15. Capacidades antioxidantes de las fibras dietarias obtenidas por el método asistido por ultrasonido

Condiciones	DPPH (μ moles ETrolox/g)		
	Muestras (10')	Muestras (25')	Muestras (40')
FU: Fibra alcalina			
FU (10 mL/20%)	94.04 \pm 6.69 ^{gh}	128.55 \pm 5.96 ^f	211.59 \pm 6.51 ^{bc}
FU (10 mL/50%)	184.42 \pm 9.38 ^d	131.90 \pm 8.17 ^{ef}	267.11 \pm 9.59 ^a
FU (25 mL/20%)	147.11 \pm 8.65 ^e	107.96 \pm 2.20 ^g	225.14 \pm 1.58 ^b
FU (25 mL/50%)	75.53 \pm 3.84 ⁱ	54.95 \pm 9.09 ^j	228.44 \pm 4.77 ^b
FU (40 mL/20%)	83.10 \pm 2.76 ^{hi}	107.39 \pm 3.86 ^g	195.51 \pm 2.27 ^{cd}
FU (40 mL/50%)	93.47 \pm 4.31 ^{ghi}	141.31 \pm 1.06 ^{ef}	191.87 \pm 4.66 ^d
	ABTS (μ moles ETrolox/g)		
FU (10 mL/20%)	142.05 \pm 0.58 ^b	72.27 \pm 1.24 ^h	141.42 \pm 3.06 ^b
FU (10 mL/50%)	119.02 \pm 1.15 ^{de}	91.72 \pm 0.92 ^g	171.48 \pm 2.93 ^a
FU (25 mL/20%)	124.58 \pm 2.49 ^{cd}	127.55 \pm 2.01 ^{cd}	132.17 \pm 5.13 ^{bc}
FU (25 mL/50%)	117.62 \pm 1.09 ^{de}	69.34 \pm 6.61 ^h	134.77 \pm 7.16 ^{bc}
FU (40 mL/20%)	72.53 \pm 7.18 ^h	97.58 \pm 2.21 ^{fg}	133.31 \pm 5.87 ^{bc}
FU (40 mL/50%)	107.37 \pm 4.51 ^{ef}	90.16 \pm 5.31 ^g	128.21 \pm 4.93 ^{cd}
	FRAP (μ moles ETrolox/g)		
FU (10 mL/20%)	200.65 \pm 5.34 ^f	226.33 \pm 5.13 ^e	418.13 \pm 2.81 ^{bc}
FU (10 mL/50%)	415.81 \pm 7.14 ^{bc}	249.70 \pm 6.41 ^e	549.24 \pm 6.82 ^a
FU (25 mL/20%)	229.29 \pm 8.43 ^e	170.86 \pm 1.45 ^{gh}	396.09 \pm 6.61 ^c
FU (25 mL/50%)	200.76 \pm 3.76 ^f	74.75 \pm 1.68 ^j	433.15 \pm 4.50 ^b
FU (40 mL/20%)	111.42 \pm 1.63 ⁱ	168.71 \pm 5.43 ^{gh}	399.86 \pm 15.06 ^c
FU (40 mL/50%)	148.87 \pm 5.41 ^h	190.40 \pm 3.12 ^{fg}	344.08 \pm 21.13 ^d

Los resultados son el promedio \pm desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como μ moles equivalentes de Trolox (TEAC) por gramo de materia seca. Las

medias en mismo ensayo con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. FU (X/Y): Fibra ultrasónica (Proporción de solvente por gramo de muestra/amplitud)

La capacidad antioxidante presentó los mejores resultados en las condiciones en las cuales la extracción se realizó por los períodos de tiempo más largo (40'), condiciones en las cuales la presencia de compuestos bioactivos fue más elevada.

Dong *et al.* (2023) describieron un incremento en la capacidad antioxidante por el método FRAP de un 21.89 % en muestras de *Dendrocalamus brandisii* tratadas por ultrasonidos, esto asociados a la exposición de grupos funcionales generadas por el proceso de cavitación y el tratamiento térmico.

A partir de los resultados anteriores se seleccionaron únicamente las condiciones FU (10 mL/ 50 %); FU (25 mL/ 50 %); FA (40 mL / 20 %) para la determinación de composición de saponinas y propiedades tecno-funcionales.

VI.3.3. Composición de saponinas

La composición de saponinas de las fibras dietarias obtenidas bajo diferentes condiciones de extracción se muestran en la Tabla 16. Estos al ser compuestos altamente solubles en medios acuosos, se pierden fácilmente en el medio de extracción durante los tratamientos alcalinos y asistidos por ultrasonido, conservándose solo entre un 1 y un 12 % de la fracción inicial existente en la matriz (Xu & Yu, 2021).

Tabla 16. Composición de saponinas en concentrados de fibra obtenidos por los tratamientos alcalino y asistido por ultrasonido.

	MUESTRA	Saponinas (mg ED/ g)	Retención (%)
Alcalino	FA (0.2 M/ 50 mL)	0.31 ± 0.03 ^e	1.93
	FA (0.5 M/ 10 mL)	0.78 ± 0.03 ^b	4.87
	FA (0.5 M/ 10 mL)	0.15 ± 0.00 ^f	0.94
Ultrasónico	FU (10 mL / 50%)	0.69 ± 0.01 ^c	4.30
	FU (25 mL / 50%)	1.86 ± 0.02 ^a	11.60

FU (40 mL / 20%)	0.54 ± 0.01 ^d	3.36
CAM	16.03 ± 0.78	

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como miligramos equivalentes de diosgenina por gramo de muestra seca. Las medias en una misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. FA (X/Y): Fibra alcalina (Molaridad de NaOH/Proporción de solvente por gramo de muestra); FU (X/Y): Fibra ultrasónica (Proporción de solvente por gramo de muestra/amplitud)

El mejor rendimiento de saponinas para el método alcalino resultó el de proporción de solvente más pequeña [FA (0.5 M/ 10 mL)] ya que se limita la solubilización y pérdida de las mismas. Para el método asistido por ultrasonidos el mejor rendimiento se encontró en la condición FU (25 mL/ 50%). Estas condiciones de extracción permiten una buena difusión de la energía en el medio sin provocar la degradación de la mismas ni su solubilización excesiva. El segundo método resultó superior hasta en un 58 % con respecto al primero. Si se quiere lograr una mejor conservación de este tipo de compuestos (saponinas) se deben generar otro tipo de estrategias ya que el porcentaje presente en la cáscara de aguacate 'Hass' es considerable. Otros autores han obtenido un mejor rendimiento de saponinas mediante el empleo de maceraciones etanólicas de la cáscara (Rumipamba, 2021).

VI.3.4. Composición química de fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass'

El efecto del método y las condiciones de extracción en la composición química de las fibras dietarias obtenidas se aprecian en la Tabla 17.

Tabla 17. Composición química de la fibra dietarias de cáscara de aguacate 'Hass'

Parámetro	MUESTRA					
	Alcalino			Asistido por Ultrasonidos		
	FA (0.2 M/ 50 mL)	FA (0.5 M/ 10 mL)	FA (0.5 M/ 10 mL)	FU (10 mL/ 50 %)	FU (25 mL/ 50 %)	FU (40 mL/ 20 %)
Proteínas	9.73 ± 0.14 ^a	8.38 ± 0.10 ^{bc}	8.21 ± 0.17 ^c	8.78 ± 0.12 ^b	9.41 ± 0.02 ^a	9.32 ± 0.08 ^a
Lípidos	2.57 ± 0.16 ^b	1.35 ± 0.10 ^c	1.82 ± 0.20 ^c	3.87 ± 0.19 ^a	3.52 ± 0.03 ^a	3.33 ± 0.03 ^a
Cenizas	9.66 ± 0.23 ^c	14.34 ± 0.07 ^a	13.16 ± 0.31 ^b	3.47 ± 0.01 ^d	2.43 ± 0.02 ^e	1.78 ± 0.05 ^f
CH	78.05 ± 0.25 ^c	75.93 ± 0.06 ^d	76.80 ± 0.69 ^{cd}	83.87 ± 0.32 ^b	84.64 ± 0.01 ^{ab}	85.57 ± 0.10 ^a

FDT	78.23 ± 1.34 ^b	73.08 ± 0.73 ^c	73.53 ± 1.25 ^c	81.52 ± 2.09 ^b	85.19 ± 1.25 ^a	86.80 ± 0.67 ^a
FDI	72.46 ± 1.01 ^c	64.28 ± 0.43 ^d	65.50 ± 1.25 ^d	71.69 ± 0.10 ^c	78.03 ± 0.86 ^b	82.08 ± 1.21 ^a
FDS	5.78 ± 0.33 ^{cd}	8.80 ± 0.30 ^a	8.03 ± 0.00 ^{ab}	8.67 ± 0.72 ^a	6.59 ± 0.23 ^{bc}	4.72 ± 0.54 ^d

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como porcentaje en base a materia seca. El contenido proteico fue calculado como el contenido de nitrógeno multiplicado por el factor 6.25. Las medias en un mismo renglón con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. CH (Carbohidratos); FDT (Fibra dietaria total); FDI (Fibra dietaria insoluble); FDS (Fibra dietaria soluble). FA (X/Y): Fibra alcalina (Molaridad de NaOH/Proporción de solvente por gramo de muestra); FU (X/Y): Fibra ultrasónica (Proporción de solvente por gramo de muestra/amplitud)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros químicos entre las diferentes condiciones y métodos ensayados. Con respecto a la matriz original (10.52 %) disminuyen de forma significativa la presencia de lípidos y se mantienen similares las concentraciones de proteínas y cenizas (8.89 y 3.51 % respectivamente); este último únicamente en el caso del método asistido por ultrasonido, pues en el método alcalino se generan residuos de NaCl al neutralizar el NaOH que incrementan de forma significativa este resultado lo que se sugiere de debe a la presencia de sodio).

Por otra parte, ambos métodos incrementan de forma significativa la proporción de carbohidratos y fibra dietaria presente en la muestra con respecto a la matriz original (77.08 y 66.89 %). Sin embargo, es importante destacar que las condiciones del método de extracción asistido por ultrasonidos generaron muestras con una pureza mayor (porcentaje de fibra de dietaria total mayor), probablemente asociada una mayor eficacia de este método para extraer la fibra dietaria (Devi *et al.*, 2023).

VI.3.5. Propiedades tecno-funcionales

Las propiedades tecno-funcionales de las fibras dietarias son de vital importancia ya que las mismas pueden asociarse directamente con las funcionalidades y beneficios de determinado ingrediente y en cuales matrices pudiera ser incorporado con mayor éxito (Karra *et al.*, 2020). Los tratamientos y el método de extracción de fibra dietaria seleccionado en cada caso tienen una influencia directa en estas propiedades y a su vez estas están relacionadas con otros factores como

condiciones ambientales y estructura química de los polisacáridos constituyentes de la fibra dietaria, porosidad, tamaño de partícula, fuerza iónica, pH, temperatura entre otras (Tejada-Ortigoza *et al.*, 2016).

Las propiedades tecno-funcionales de las fibras dietarias obtenidas bajo diferentes condiciones de extracción se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Propiedades tecno-funcionales de fibras dietarias obtenidas a partir de cáscara de aguacate 'Hass'

	MUESTRA	CRA (g H ₂ O/ g)	CRO (g aceite/ g)	CAG (mmoles / g)
Alcalino	FA (0.2 M/ 50 mL)	3.99 ± 0.08 ^b	1.95 ± 0.13 ^c	ND
	FA (0.5 M/ 10 mL)	3.35 ± 0.13 ^c	1.66 ± 0.10 ^d	0.42 ± 0.13 ^d
	FA (0.5 M/ 10 mL)	3.61 ± 0.22 ^{bc}	1.93 ± 0.01 ^c	0.57 ± 0.13 ^d
Ultrasónico	FU (10 mL / 50%)	3.52 ± 0.13 ^{bc}	2.87 ± 0.17 ^b	21.07 ± 0.34 ^b
	FU (25 mL / 50%)	3.95 ± 0.27 ^b	2.95 ± 0.01 ^b	7.25 ± 0.09 ^c
	FU (40 mL / 20%)	5.00 ± 0.11 ^a	3.53 ± 0.08 ^a	21.84 ± 0.22 ^a
	CAM	2.45 ± 0.07 ^d	1.55 ± 0.03 ^d	ND

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes. Las medias en un mismo renglón con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. CRA: Capacidad de retención de agua; CRO: Capacidad de retención de aceite; CAG: Capacidad de adsorción de glucosa; ND: No detectable por el método. CAM: Cáscara de aguacate maduro. FA (X/Y): Fibra alcalina (Molaridad de NaOH/Proporción de solvente por gramo de muestra); FU (X/Y): Fibra ultrasónica (Proporción de solvente por gramo de muestra/amplitud)

De forma general se observó una mejora de las propiedades tecno-funcionales con ambos métodos de extracción con respecto a la matriz original. Sin embargo, es importante señalar que los resultados de la fibra dietaria obtenida con extracción asistida por ultrasonidos fueron superiores a las fibras obtenidas por el método alcalino. Este comportamiento es similar a lo reportado por Wang *et al.* (2021) quienes concluyeron que la extracción alcalina conduce a estructuras mucho más planas (menos porosa en la superficie) en la fibra dietaria debido a la

elevada acción oxidante del NaOH por lo que sus propiedades tecno-funcionales se ven disminuidas al compararla con la fibra dietaria obtenida por otros métodos de extracción sobre la misma matriz (*Actinidia deliciosa*).

De igual forma, se ha reportado que el proceso de cavitación generado por el ultrasonido conduce a cambios tridimensionales en la estructura de la muestra como la aparición de cadenas más cortas lo cual se ha relacionado con una mejora de las propiedades tecno-funcionales de las muestras obtenidas por este método (Sun *et al.*, 2018).

Se ha reportado que las fibras dietarias con elevada capacidad de retención de agua resultan de utilidad para evitar la sinéresis o la pérdida de humedad en alimentos y con esto pueden contribuir a su estabilidad física durante su vida de anaquel (Tejada-Ortigoza *et al.*, 2016). Además, son capaces de elevar el volumen de las heces y con ello facilitar la eliminación de desechos al enlentecer la liberación de nutrientes en el intestino o ser empleados para modificar la textura y la viscosidad de los alimentos (Rouhou *et al.*, 2018). Esta propiedad se define como cantidad de agua retenida por gramo de fibra dietaria seca bajo condiciones definidas y se constituye de la suma de agua ligada, agua hidrodinámica y principalmente agua físicamente ligada (Devi *et al.*, 2023).

Los resultados obtenidos por las fibras dietarias obtenidas en este trabajo son similares a los presentados por Chu *et al.* (2019) y a su vez son comparables con los valores de capacidad de retención de agua de la celulosa comercial de soya esto coincide con el hecho de que la mayor proporción de fibra dietaria presente en la cáscara de aguacate 'Hass' es de naturaleza insoluble (Salazar-López *et al.*, 2021). La fibra dietaria con mejores resultados fue la obtenida por el método asistido por ultrasonidos con amplitud del 20 % y proporción de solvente de 40 mL por gramo de muestra, resultando superior al resto de las extracciones. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas en este parámetro para el resto de las condiciones de extracción de ambos métodos. Estos resultados corresponden con el hecho de que por este método y bajo estas condiciones de obtuvieron los mejores resultados de pureza en la muestra (86.80 %), lo cual

contribuye directamente al incremento de las propiedades tecno-funcionales (Chen *et al.*, 2013).

La capacidad de retención de aceite se refiere a la cantidad de aceite retenido por gramo de muestra luego de ser incubada y centrifugada. Esta propiedad resulta de beneficio en productos con un alto porcentaje de grasa ya que se ha asociado con una menor pérdida de esta luego del cocinado. Por lo tanto, una mayor conservación de la textura, y con algunas propiedades biológicas como la eliminación de sales biliares y la disminución del colesterol sérico (Wang *et al.*, 2015).

Los resultados muestran que el proceso de extracción asistida por ultrasonidos condujo a la obtención de fibra con capacidades de retención de aceite superiores y a su vez comparables con las obtenidas por otros autores que han empleado metodologías similares a las de este trabajo (Devi *et al.*, 2023; Ding *et al.*, 2020). Al igual que para la capacidad de retención de agua, para esta propiedad la mejor condición fue la obtenida por el método asistido por ultrasonidos con amplitud del 20 % y proporción de solvente de 40 mL por gramo de muestra (hasta un 50 % superior al resto de las extracciones), lo cual nuevamente se puede asociar a una mayor eficiencia del proceso de extracción bajo estas condiciones lo cual se sugiere pudiera implicar la mejora de estas funcionalidades en la harina formulada en esta investigación.

Finalmente, la capacidad de adsorción de glucosa es una propiedad que determina en qué medida la fibra dietaria une de forma superficial a esta molécula y con esto puede retrasar o reducir la digestión y absorción de la misma en el tracto gastrointestinal, provocando una reducción de glucosa en sangre (Chu *et al.*, 2019). Esta se define como cantidad de glucosa adsorbida por gramo de fibra dietaria seca. Los resultados de la fibra dietaria obtenida por el método alcalino fueron significativamente inferiores a los de la fibra obtenida por el método asistido por ultrasonidos y son similares a los reportado por Chen *et al.* (2013) y Sun *et al.* (2018) quienes realizaron extracciones alcalinas para residuos de soya ricos en

fibra dietaria del tipo insoluble; por lo cual se recomienda el empleo de estas, ya que puedes tener un mayor impacto en la salud del consumidor.

VI.3.6. Efecto de los métodos de extracción en las propiedades fitoquímicas y tecno-funcionales de la fibra dietaria de cáscara de aguacate ‘Hass’

Se realizó un análisis de componentes principales con el objetivo de identificar correlaciones multivariantes entre las diferentes propiedades de las fibras dietarias obtenidas por los métodos de extracción empleados en el presente trabajo (Figura 5). Los componentes principales 1,2 y 3 explican el 93.8 % del total de variaciones de los datos.

Se puede apreciar que existen una correlación positiva entre la presencia de proteínas y fibra dietaria con la capacidad de retención de agua. Estas dos macromoléculas se han relacionado directamente con esta capacidad. Se ha reportado una correlación positiva entre este parámetro y el contenido de proteínas presentes en diferentes cultivos de avena (Németh *et al.*, 2021). De igual forma ha sido descrito que los tratamientos físicos como ultrasonidos a muestras pueden provocar la desnaturalización y la exposición de grupos funcionales polares que pueden favorecer la capacidad de las muestras de retener agua (Chen *et al.*, 2020). Por otra parte, la FDI que es el componente mayoritario de la muestra se ha relacionado de forma directa con la capacidad de retención de agua la cual le confiere en parte, las principales propiedades fisiológicas de estas como aumento del volumen fecal, eliminación de sustancias tóxicas, entre otras (Sang *et al.*, 2022).

La presencia de taninos se correlaciona directamente con la capacidad antioxidante determinada por el método FRAP. Los taninos son los compuestos fenólicos presentes en mayor proporción en la muestra por lo cual es de esperarse que sean los que en mayor medida se relacionen con la capacidad antioxidante total de la muestra.

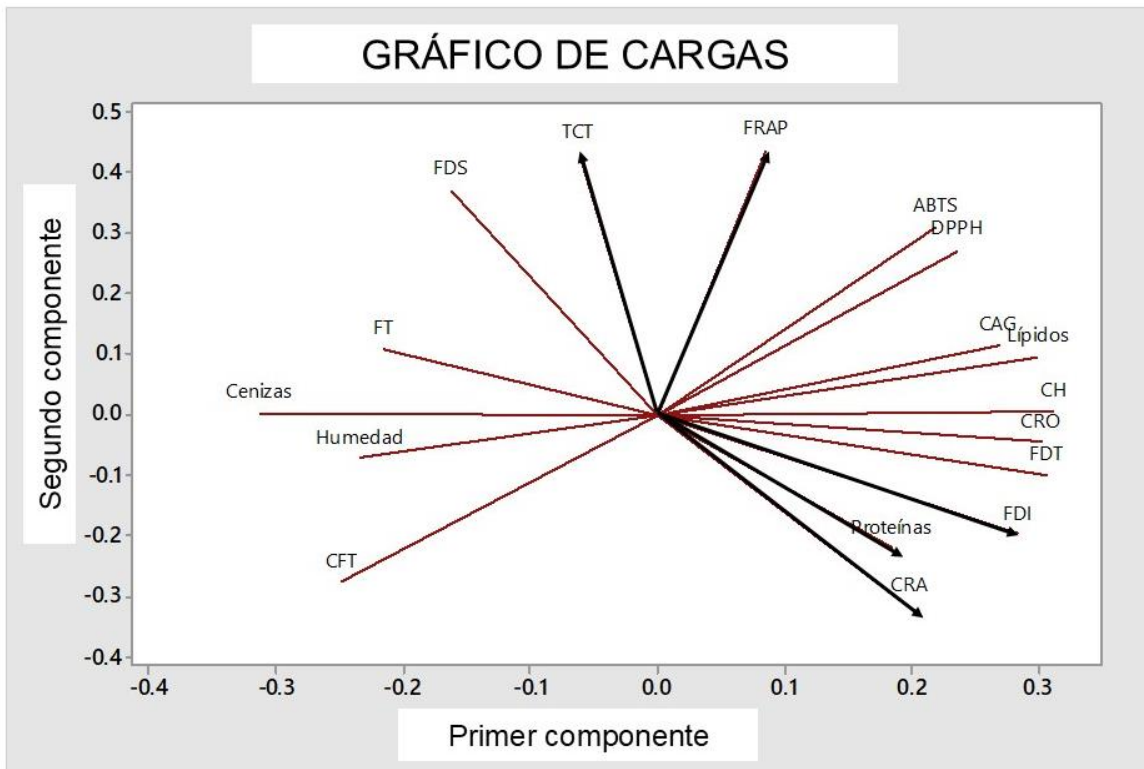


Figura 5. Proyección de las diferentes variables estudiadas en el Primer y Segundo componente. CAG: Capacidad de adsorción de glucosa, CFT: Compuestos fenólicos totales, CH: Carbohidratos, CRA: Capacidad de retención de agua, CRO: Capacidad de retención de aceite, FDI: Fibra dietaria insoluble, FDS: Fibra dietaria soluble, FDT: Fibra dietaria Total, FT: Flavonoides totales, TCT: Taninos condensados totales

VI.3.7. Harinas para “hot cakes” libres de gluten adicionadas en fibra dietaria de cáscara de aguacate ‘Hass’

VI.3.7.1. Composición química

La fibra dietaria incluida en las harinas para “hot cakes” fue la obtenida por el método asistido por ultrasonidos en las condiciones siguientes: tiempo: 40 minutos, amplitud: 20 % y proporción de solvente: 1:40 basado en los resultados de rendimiento y composición química y fitoquímica y propiedades tecno-funcionales. La composición química final de las harinas para “hot cakes” se muestran en la Tabla 19. No se apreciaron diferencias estadísticas significativas en los parámetros de humedad, proteínas, lípidos y cenizas. Solo se modificó la composición de fibra dietaria debido a la adición externa propuesta en este

trabajo. De igual forma es importante señalar que la composición proximal se encuentra en el rango de lo que han reportado otros autores para este tipo de productos (Jorge *et al.*, 2017). Otro aspecto a considerar es que los porcentajes de fibra dietaria presentados en este trabajo son significativamente superiores a otras formulaciones diseñadas con anterioridad (Adonu & Amponsah, 2022). El contenido de humedad de las harinas resulta de vital importancia para la conservación de las mismas, particularmente desde el punto de vista de la inocuidad microbiana de este tipo de alimentos (Marta *et al.*, 2023). El límite establecido para este tipo de alimentos es de un 14 % de humedad y todas nuestras muestras se encontraron por debajo de este rango (Sumardiono *et al.*, 2022) por lo que cumple con el parámetro requerido.

Tabla 19. Composición química de las harinas para "hot cakes" adicionados con diferentes concentraciones de fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass'

Parámetro	MUESTRA				
	H0	H2.5	H3.0	H3.5	H4.0
Humedad	8.03 ± 0.05 ^{ab}	7.98 ± 0.04 ^{ab}	7.99 ± 0.12 ^{ab}	8.35 ± 0.22 ^a	7.68 ± 0.20 ^b
Proteínas	6.68 ± 0.14 ^a	6.57 ± 0.04 ^a	6.77 ± 0.33 ^a	6.58 ± 0.01 ^a	6.46 ± 0.02 ^a
Lípidos	0.65 ± 0.29 ^a	1.18 ± 0.16 ^a	0.73 ± 0.21 ^a	0.52 ± 0.14 ^a	0.56 ± 0.01 ^a
Cenizas	4.82 ± 0.27 ^a	6.00 ± 0.33 ^a	5.05 ± 0.30 ^a	4.82 ± 0.44 ^a	5.35 ± 0.66 ^a
CH	87.85 ± 0.12 ^{ab}	86.25 ± 0.53 ^b	87.46 ± 0.19 ^{ab}	88.07 ± 0.29 ^a	87.62 ± 0.64 ^{ab}
FDT	10.76 ± 0.26 ^c	12.25 ± 0.69 ^{bc}	14.11 ± 0.14 ^a	13.71 ± 0.11 ^b	15.14 ± 0.36 ^a
FDI	7.19 ± 0.52 ^c	9.33 ± 0.41 ^b	10.74 ± 0.47 ^{ab}	10.15 ± 0.10 ^{ab}	10.97 ± 0.17 ^a
FDS	3.56 ± 0.78 ^a	2.93 ± 0.28 ^a	3.37 ± 0.34 ^a	3.56 ± 0.01 ^a	4.17 ± 0.19 ^a

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como porcentaje en base a materia seca. El contenido proteico fue calculado como el contenido de nitrógeno multiplicado por el factor 6.25. Las medias en un mismo renglón con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. CH: Carbohidratos; FDT: Fibra dietaria total; FDI: Fibra dietaria insoluble; FDS: Fibra dietaria soluble. H0: Harina sin adicionar; H2.5: Harina adicionada con 2.5 g de fibra dietaria por porción; H3.0: Harina adicionada con 3.0 g de fibra dietaria por porción; H3.5: Harina adicionada con 3.5 g de fibra dietaria por porción; H4.0: Harina adicionada con 4.0 g de fibra dietaria por porción.

Con la adición de fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass' se logró el incremento de la presencia de este macronutriente hasta en un 28.92 %, siendo la proporción mayoritaria de naturaleza insoluble por lo que se clasifican como harinas adicionadas en fibra dietaria.

VI.3.7.2. Propiedades tecno-funcionales de las harinas para “hot cakes” adicionadas en fibra dietaria de cáscara de aguacate ‘Hass’

Las propiedades tecno-funcionales de las cinco harinas formuladas se muestran en la Tabla 20. Se puede apreciar que no existieron diferencias estadísticas entre ellas por lo que se puede sugerir que la inclusión de la fibra dietaria en estas cantidades no condujo a una mejora de estas propiedades. Sin embargo, y al compararlo con resultados presentes en la literatura la capacidad de retención de agua de las muestras se encontraron dentro del rango reportado por Akshata *et al.*, (2019) tanto para una harina formulada a base de harina convencional como una a base de harina de arroz, y correlacionan de forma directa la composición de carbohidratos y proteínas con el valor de CRA.

Tabla 20. Propiedades tecno-funcionales de harinas para “hot cakes” libres de gluten y adicionados con diferentes concentraciones de fibra de cáscara de aguacate 'Hass'

Harina	CRA	%	CRO	%
H0	1.10 ± 0.20 ^a	109.80	1.26 ± 0.07 ^a	125.68
H2.5	1.19 ± 0.06 ^a	119.21	1.34 ± 0.02 ^a	134.32
H3.0	1.14 ± 0.10 ^a	113.84	1.36 ± 0.01 ^a	141.22
H3.5	1.24 ± 0.02 ^a	123.94	1.32 ± 0.04 ^a	144.80
H4.0	1.12 ± 0.13 ^a	112.22	1.35 ± 0.04 ^a	135.49

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como gramos de agua/aceite por gramo de muestra. Las medias en una misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. CRA: Capacidad de retención de agua; CRO: Capacidad de retención de aceite. H0: Harina sin adicionar; H2.5: Harina adicionada con 2.5 g de fibra dietaria por porción; H3.0: Harina adicionada con 3.0 g de fibra dietaria por porción; H3.5: Harina adicionada con 3.5 g de fibra dietaria por porción; H4.0: Harina adicionada con 4.0 g de fibra dietaria por porción.

La capacidad de retención de agua también se ha asociado con una mayor capacidad de reconstitución y mejores propiedades en la textura de la masa generada (Marta *et al.*, 2023), lo que representa una característica para el cumplimiento de la calidad del producto.

Al igual que la capacidad de retención de agua de las harinas, para la capacidad de retención de aceite no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, el valor de este parámetro para harina que fue formulada sin adicionar fibra dietaria

es menor que el resto de las harinas (6.67 %). De igual forma los valores reportados para esta propiedad en este trabajo fueron superiores a los reportados por otros autores para harinas de otros cereales (Badia-Olmos *et al.*, 2023). Esta propiedad ha asociado con la presencia en la muestra de grupos hidrófobos y lípidos en la muestra y se ha relacionado con aspectos deseables en la muestra como conservación del sabor y palatabilidad. Además, resulta de vital importancia en productos tipo salsas y de forma particular en panes de cocción rápida como “hot cakes” (Obinna-Echem *et al.*, 2024).

VI.3.7.2. Distribución del tamaño de partículas

La distribución del tamaño de partículas de las harinas resulta de vital importancia ya que garantiza la uniformidad de la mezcla y disminuye la posibilidad de la presencia de defectos como la sedimentación de partículas más grandes. Además de asocia de forma directa con las propiedades tecno-funcionales y las posibles aplicaciones y comportamiento de las mezclas (Cornejo-Villegas *et al.*, 2013; Bressiani *et al.*, 2017).

El porcentaje de muestra retenido en cada uno de los tamices empleados en este estudio para las diferentes mezclas de harinas para “hot cakes” formuladas se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Masa de harina para “hot cakes” retenida en los diferentes tamaños de partícula.

Tamaño de partícula (µm)	Harina para “hot cakes” retenido en cada tamiz (%)				
	H0	H2.5	H3.0	H3.5	H4.0
0.00	6.22 ± 0.89 ^a	4.49 ± 1.87 ^a	3.70 ± 1.68 ^a	4.48 ± 1.01 ^a	7.71 ± 2.00 ^a
149	6.28 ± 1.18 ^a	5.75 ± 0.94 ^a	7.07 ± 0.91 ^a	5.03 ± 1.30 ^a	7.11 ± 1.58 ^a
177	23.76 ± 2.96 ^a	24.42 ± 0.46 ^a	19.64 ± 1.67 ^a	21.39 ± 3.55 ^a	20.69 ± 0.88 ^a
250	48.36 ± 6.71 ^a	52.17 ± 5.43 ^a	51.08 ± 2.21 ^a	51.02 ± 2.76 ^a	49.72 ± 1.25 ^a
400	15.21 ± 1.94 ^a	12.38 ± 2.93 ^a	17.94 ± 1.19 ^a	17.69 ± 3.48 ^a	14.64 ± 0.41 ^a
841	0.16 ± 0.05 ^c	0.79 ± 0.41 ^{ab}	0.90 ± 0.13 ^a	0.33 ± 0.14 ^{bc}	0.10 ± 0.09 ^c

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes y están expresados como porcentaje de muestra retenida. Las medias en el mismo renglón con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey. H0: Harina sin adicionar; H2.5: Harina adicionada con

2.5 g de fibra dietaria por porción; H3.0: Harina adicionada con 3.0 g de fibra dietaria por porción; H3.5: Harina adicionada con 3.5 g de fibra dietaria por porción; H4.0: Harina adicionada con 4.0 g de fibra dietaria por porción.

Para todas las harinas formuladas entre un 80 y un 87 % de las partículas tuvieron un tamaño inferior a 250 μm . Se ha establecido en la literatura que harinas con un tamaño de partículas más pequeño resultan de utilidad en productos de panadería ya que son capaces de incrementar la capacidad de retención de agua entre otras propiedades deseables en este tipo de productos; esto debido al incremento de la superficie específica capaz de interactuar con el agua (Kim & Shin, 2014).

Además, la forma de curva que presenta la distribución del tamaño de partículas de las harinas (Figura 6) sin presencia de picos indica precisamente la ausencia de granulados o partículas agregadas, por lo que se aprecia la uniformidad en el tamaño de partículas (Cristiano *et al.*, 2019).

Distribución del tamaño de partículas

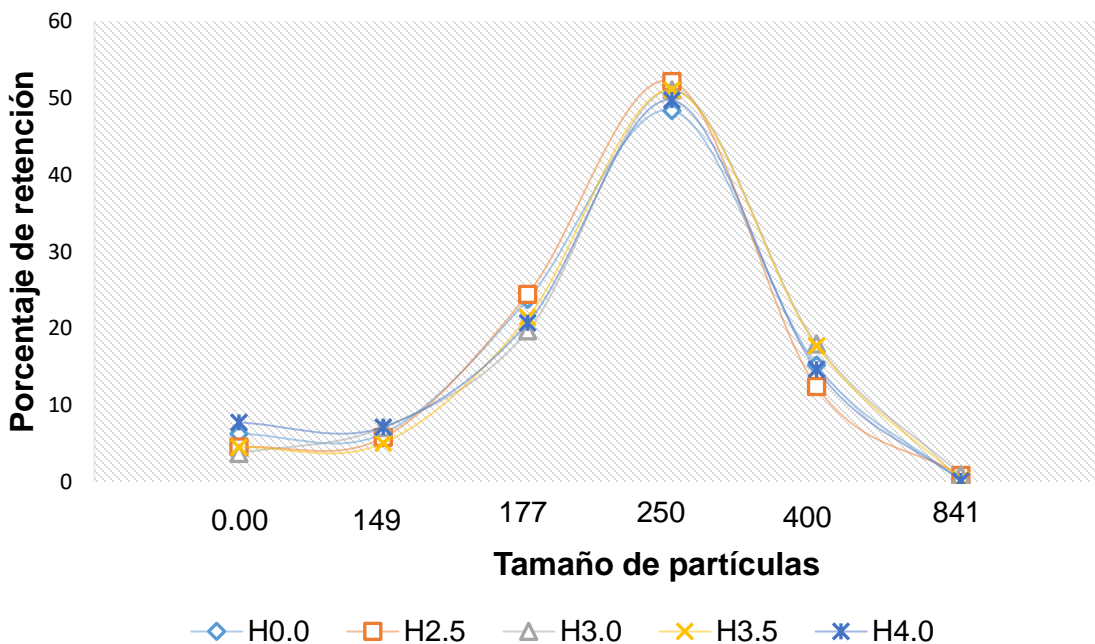


Figura 6. Distribución del tamaño de partículas de las harinas para "hot cakes" formuladas. Los resultados son el promedio \pm desviación estándar de tres experimentos independientes. H0: Harina sin adicionar; H2.5: Harina adicionada con 2.5 g de fibra dietaria por porción; H3.0: Harina adicionada con 3.0 g de fibra dietaria por porción; H3.5: Harina adicionada con 3.5 g de fibra dietaria por porción; H4.0: Harina adicionada con 4.0 g de fibra dietaria por porción.

VI.3.7. Análisis microbiológico

Los resultados de los análisis microbiológicos realizados a las diferentes harinas se muestran en la Tabla 22.

Todos los valores obtenidos en el presente trabajo se encuentran por debajo de los valores de referencia para este tipo de productos reportado por la NOM-247-SSA1-2008, lo cual asegura su inocuidad desde el punto de vista microbiológico.

Tabla 22 Resultados microbiológicos de las harinas para “hot cakes” libres de gluten adicionadas en fibra de cáscara de aguacate 'Hass'

Harinas	BMA (UFC/g)	M (UFC/g)	L (UFC/g)	CT (UFC/g)
H0	<10	<10	<10	<10
H2.5	<10	<10	<10	<10
H3.0	<10	<10	<10	<10
H3.5	<10	<10	<10	<10
H4.0	<10	<10	<10	<10
Referencia	100 000	200	No aplica	100

BMA (Bacterias mesófilas aerobias); M (Mohos); L (Levaduras); CT (Coliformes Totales); H0: Harina sin adicionar; H2.5: Harina adicionada con 2.5 g de fibra dietaria por porción; H3.0: Harina adicionada con 3.0 g de fibra dietaria por porción; H3.5: Harina adicionada con 3.5 g de fibra dietaria por porción; H4.0: Harina adicionada con 4.0 g de fibra dietaria por porción.

VI.3.8. Desarrollo de “hot cakes” libres de gluten adicionados en fibra de cáscara de aguacate ‘Hass’

VI.3.8.1. Caracterización física

Las características físicas principales de los “hot cakes” formulados se muestran en la Tabla 23. Se puede apreciar que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de ellos. Los porcentajes de variación para el largo, ancho y altura fueron de 5.79 %, 7.49 % y 14.38 % respectivamente y en cuanto al peso solo se encontró una diferencia de 1.75 g entre el mínimo y máximo valor obtenido. Lo anterior indica que se logró uniformidad en cuanto a la forma y el peso de los “hot cakes” obtenidos. De igual forma es importante señalar que el volumen específico, que constituye en la actualidad uno de los atributos

más importantes en la calidad de cualquier tipo de pan y uno de los mayormente relacionados con la elección del consumidor (Monteiro *et al.*, 2021) presentó resultados en el rango de los reportados por (Ma *et al.*, 2021). Jiang *et al.* (2021) refieren que la adición de fibra dietaria puede llegar a afectar el volumen específico de los panes, esto debido a que este macronutriente interacciona de forma significativa con el agua presente en la muestra, afectando de forma directa la textura de los panes. Sin embargo, las proporciones usadas en el presente trabajo al parecer no influyeron de forma negativa en este indicador lo cual coincide también con lo reportado por Kučerová *et al.* (2013).

Tabla 23. Parámetros físicos de los "hot cakes" adicionados en fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass' formulados

Muestra	Dimensiones			Peso (g)	Volumen específico (mL/g)
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)		
HC-0	34.49 ± 1.94 ^a	34.21 ± 1.76 ^a	11.79 ± 1.45 ^a	7.73 ± 0.85 ^a	2.57 ± 0.48 ^a
HC-2.5	36.61 ± 1.26 ^a	36.93 ± 1.86 ^a	12.30 ± 1.92 ^a	8.68 ± 1.15 ^a	2.32 ± 0.63 ^a
HC-3.0	35.18 ± 0.98 ^a	35.44 ± 0.84 ^a	12.64 ± 0.93 ^a	8.53 ± 1.88 ^a	2.22 ± 0.64 ^a
HC-3.5	35.83 ± 2.16 ^a	35.82 ± 1.18 ^a	13.18 ± 0.59 ^a	9.48 ± 1.28 ^a	2.29 ± 0.20 ^a
HC-4.0	34.57 ± 0.21 ^a	34.53 ± 0.50 ^a	13.77 ± 1.44 ^a	9.42 ± 1.62 ^a	2.49 ± 0.13 ^a

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de tres experimentos independientes. Las medias en una misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. HC-0: "Hot cake" sin adicionar; HC-2.5: "Hot cake" adicionado con 2.5 g de fibra dietaria por porción; HC-3.0: "Hot cake" adicionado con 3.0 g de fibra dietaria por porción; HC-3.5: "Hot cake" adicionado con 3.5 g de fibra dietaria por porción; HC-4.0: "Hot cake" adicionad con 4.0 g de fibra dietaria por porción.

VI.3.8.2. Perfil de Textura

La Tabla 24 muestra los resultados del análisis del perfil de textura de los diferentes "hot cakes" formulados en este trabajo. La textura es una de las cualidades más importantes en la calidad de los "hot cakes". Con anterioridad ha sido reportado que la dureza de este tipo de producto es significativamente superior cuando se trata de formulaciones libres de gluten, con respecto a los tradicionales (Marta *et al.*, 2023). En el caso de este parámetro podemos apreciar en los resultados tendencia decreciente conforme se incrementa la adición de fibra

dietaria. Nuestros resultados son inferiores a los reportados por Rakmai *et al.*, (2021) quienes desarrollaron “hot cakes” a base de diferentes tipos de harina de arroz adicionados con maltodextrinas resistentes apreciándose de igual forma una disminución de la dureza (51.19 - 21.38 N) directamente proporcional al enriquecimiento. Este mismo comportamiento se aprecia en el parámetro de gomosidad (18.93 – 36.77 N) el cual es la fuerza necesaria para desintegrar una muestra de alimento a un estado tal que facilite su ingesta.

Por otra parte, no se entraron diferencias entre las muestras en el parámetro de cohesividad (0.72-0.76), estos valores se encuentran similares a los rangos establecidos por Cho *et al.* (2019) y Rakmai *et al.* (2021). Así mismo, algunos comportamientos atípicos en este ensayo pueden estar asociados a la variabilidad del tamaño y forma de los “hot cakes” obtenidos.

Tabla 24. Perfil de textura de los “hot cakes” obtenidos

Muestra	Parámetro			
	Dureza (N)	Elasticidad (mm)	Cohesividad	Gomosidad (N)
HC-0	14.77 ± 0.75 ^a	4.70 ± 0.19 ^b	0.72 ± 0.05 ^a	10.25 ± 0.28 ^a
HC-2.5	13.02 ± 2.83 ^{ab}	13.28 ± 0.16 ^a	0.72 ± 0.07 ^a	8.81 ± 1.28 ^{ab}
HC-3.0	6.74 ± 0.65 ^c	4.86 ± 0.07 ^b	0.75 ± 0.02 ^a	5.00 ± 0.35 ^{bc}
HC-3.5	7.82 ± 0.54 ^{bc}	6.09 ± 2.21 ^b	0.74 ± 0.02 ^a	5.84 ± 0.43 ^{bc}
HC-4.0	7.75 ± 1.47 ^{bc}	4.86 ± 0.05 ^b	0.76 ± 0.03 ^a	5.81 ± 1.00 ^c

Los resultados son el promedio ± desviación estándar de 10 experimentos independientes. Las medias en una misma columna con diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba estadística Tukey-Kramer. HC-0: “Hot cake” sin adicionar; HC-2.5: “Hot cake” adicionado con 2.5 g de fibra dietaria por porción; HC-3.0: “Hot cake” adicionado con 3.0 g de fibra dietaria por porción; HC-3.5: “Hot cake” adicionado con 3.5 g de fibra dietaria por porción; HC-4.0: “Hot cake” adicionad con 4.0 g de fibra dietaria por porción.

VI.3.8.3. Análisis Sensorial

La aceptabilidad general de las formulaciones desarrolladas en el presente trabajo fue evaluada mediante una prueba sensorial empleando una escala hedónica de 9 puntos. De forma general, no existieron diferencias significativas entre los resultados de los principales indicadores evaluados en la prueba sensorial para todas las formulaciones. Además, todos los “hot cakes” fueron aceptados

sensorialmente con puntuaciones entre 5 y 9 puntos para todos los indicadores evaluados. Como se aprecia en los resultados, el “*hot cake*” control resultó superior al resto de las formulaciones (adicionados en fibra de cáscara de aguacate ‘Hass’) en 3 de los cinco atributos evaluados. La puntuación del color del control (7.48) resultó entre un 12 y un 21 % superior al resto de las formulaciones (5.93 - 6.52) siendo esta la mayor diferencia. La inclusión de la fibra sin duda fue un factor que condicionó el color de la muestra ya que como se aprecia en la Figura 7 la coloración de los “*hot cakes*” adicionados en fibra (los primeros 4 de izquierda a derecha) en todos los casos resultaron cafés lo cual no resultó del agrado de los panelistas.

El 25 % de los panelistas que deseaban una mejoría en el producto (40 en total) refirieron este parámetro (color) como el principal a mejorar. En un menor número de panelistas se evaluó el mismo control, pero con la adición de color similar a los “*hot cakes*” adicionados en fibra, sin embargo, no se encontraron diferencias con el control sin la adición del color. Por otra parte, las puntuaciones de las formulaciones adicionadas en fibra dietaria de cáscara de aguacate ‘Hass’ en el aspecto de olor fueron entre un 86 y un 96 % del agrado del control en este parámetro (7.04). Sin embargo, es importante señalar que en todos los casos se usó la misma esencia por lo cual esta diferencia pudiera estar asociada a otros factores. Además, solo 3 panelistas indicaron el olor como el principal a mejorar.

Finalmente, en cuanto a la apariencia general del producto, solo existió una pequeña diferencia con respecto a la puntuación de la formulación control (7.48) de entre un 8 y un 17 %. De igual forma solo el 10 % de los panelistas seleccionaron a este indicador como el principal a mejorar.

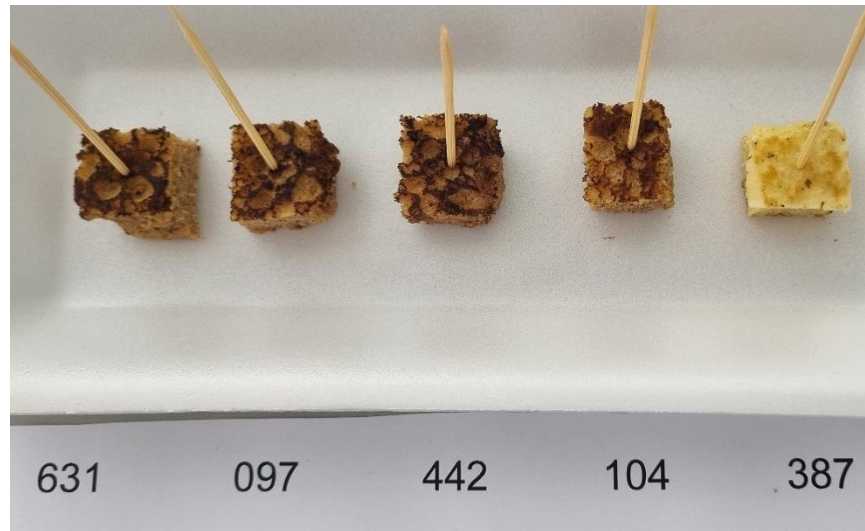


Figura 7. Aspecto general de los “hot cakes” adicionados en fibra de cáscara de aguacate ‘Hass’ y control evaluados en la prueba sensorial. Harina sin adicionar (387); Harina adicionada en 2.5 g por porción (104); Harina adicionada en 3.0 g por porción (631); Harina adicionada en 3.5 g por porción (097); Harina adicionada en 4.0 g por porción (442).

A diferencia de los anteriores indicadores, tanto en el sabor como la textura la formulación que mejores resultados presentó fue la formulación de los “hot cakes” adicionado con 2.5 g por porción: 7.00 (sabor) y 6.96 (textura), aunque estas diferencias fueron mínimas (2.14 y 0.57 % con respecto al control). Tanto el sabor como la textura fueron los indicadores que los panelistas identificaron como los principales a mejorar, ya que el 20 % y el 52.5 % de ellos, los indicaron como la principal mejoría a realizar en el producto (Figura 8).

Sensorial: Prueba de Agrado

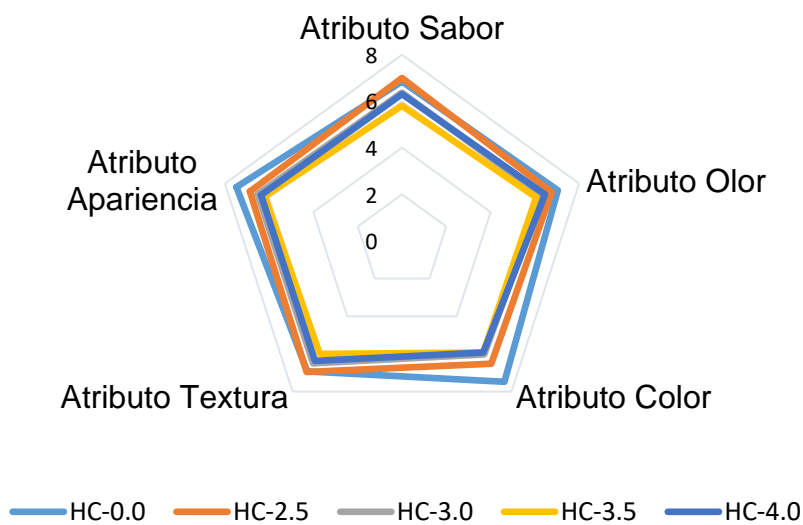


Figura 8. Resultados de la evaluación sensorial de los "hot cakes" adicionados en fibra dietaria de cáscara de aguacate 'Hass'

En todos los indicadores evaluados las formulaciones con la mayor adición de fibra dietaria (3.5 y 4.0 g por porción) presentaron las puntuaciones más bajas. Se ha descrito que los productos libres de gluten generalmente presentan una textura deficiente debido a la ausencia de las redes tridimensionales generadas por el gluten (Krupa-Kozak *et al.*, 2021). Además, se ha reportado que la inclusión de fibra dietaria en alimentos puede conducir a la generación de texturas desagradables y propiedades sensoriales deficientes (Jiang *et al.*, 2021). Los resultados de este trabajo confirman lo descrito anteriormente. Sin embargo, otros autores ya han concluido que pequeñas inclusiones de fibra dietaria en productos de panadería no afectan en la evaluación sensorial de los productos (Kučerová *et al.*, 2013).

Finalmente, se les cuestionó a los panelistas por la intención de compra de alguna de las muestras evaluadas a lo cual el 92.59 % respondió de forma afirmativa, indicando la aceptación potencial del producto en futuros consumidores.

VII. CONCLUSIONES

1. La cáscara de aguacate 'Hass' en los diferentes estados de madurez estudiados en el presente trabajo resultó ser fuente abundante compuestos nutricios y bioactivos con una elevada capacidad antioxidante. La cáscara de aguacate en estado **maduro** presentó la mayor proporción tanto de carbohidratos de fibra dietaria (esta última fundamentalmente del tipo insoluble) por lo cual fue el seleccionado para la extracción de este macronutriente.
2. Si bien no se encontraron diferencias estadísticas en los rendimientos de fibra dietaria obtenidos por los métodos alcalino y asistidos por ultrasonidos, el segundo resultó superior tanto en la conservación de compuestos fenólicos y su resultante capacidad antioxidante, así como en las propiedades químicas y tecno-funcionales de las muestras obtenidas por este.
3. Todas las harinas y "*hot cakes*" o panqueques adicionados en fibra dietaria formulados en el presente trabajo presentaron propiedades químicas, físicas tecnofuncionales y sensoriales similares al control por lo que la adición en estas proporciones no afectó de forma significativa la calidad y aceptabilidad del producto final.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Adegbola, P., Aderibigbe, I., Hammed, W., & Omotayo, T. (2017). Antioxidant and anti-inflammatory medicinal plants have potential role in the treatment of cardiovascular disease: a review. *American Journal of Cardiovascular Disease*, 7(2), 19–32. www.AJCD.us/
- Adonu, R. E., & Amponsah, A. S. (2022). Proximate composition and consumer acceptability of pancakes made with wheat and soybean flour blends. *Journal of Critical Reviews*, 9(04), 486–496. <https://www.jcreview.com/admin/Uploads/Files/62fcc232bbe149.51167363.pdf>
- Akan, S. (2021). Phytochemicals in avocado peel and their potential uses. *Food and Health*, 7(2), 138–149. <https://doi.org/10.3153/FH21015>
- Akshata, B., Indrani, D., & Prabhasankar, P. (2019). Effects of ingredients and certain additives on rheological and sensory characteristics of gluten-free eggless pancake. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14129>
- Al-Juhaimi, F., Uslu, N., Musa Özcan, M., Babiker, E. E., Ghafoor, K., Mohamed Ahmed, I., & Alsawmahi, O. N. (2021). Effects of drying process on oil quality, the bioactive properties and phytochemical characteristics of avocado (Fuerte) fruits harvested at two different maturity stages. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15368>
- Alkaltham, M. S., Uslu, N., Özcan, M. M., Salamatullah, A. M., Mohamed Ahmed, I. A., & Hayat, K. (2021). Effect of drying process on oil, phenolic composition and antioxidant activity of avocado (cv. Hass) fruits harvested at two different maturity stages. *LWT*, 148. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111716>
- Al-Shaabi, S. N. K., Al-Alawi, A., Al-Marhobi, I., & Al-Harhi, M. (2022). Fractionation and determination of chemical and physical properties of dates' fibers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(8), 560–570. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.05.001>

- Ángeles Cornejo-Villegas, M. de los, Gutiérrez-Cortez, E., Rojas-Molina, I., Del Real-López, A., Luz Zambrano-Zaragoza, M. de la, Martínez-Vega, V., & Rodríguez-García, M. E. (2013). Physicochemical, morphological, and pasting properties of nixtamalized flours from quality protein maize and its particle distribution. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.023>
- Angulo-López, J. E., Flores-Gallegos, A. C., Ascacio-Valdes, J. A., Contreras Esquivel, J. C., Torres-León, C., Rúelas-Chácon, X., & Aguilar, C. N. (2022). Antioxidant dietary fiber sourced from agroindustrial byproducts and its applications. *Foods*, 12(1), 159. <https://doi.org/10.3390/foods12010159>
- Aprilianto, E., Harmoni Swantika Yuan, A. V., Pradita, C. D., & Hendra, P. (2019). Anti-inflammatory effects of avocado peels against inflammation induced by carrageenan in mice. *Pharmaciana*, 9(2), 219. <https://doi.org/10.12928/pharmaciana.v9i2.13607>
- Araujo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruíz, H. A., Govea-Salas, M., Pintado, M., & Aguilar, C. N. (2021). Recovery of bioactive components from avocado peels using microwave-assisted extraction. *Food and Bioprocess Processing*, 127, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.02.015>
- Araújo, R. G., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 80, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Arena, M. E., Postemsky, P., & Curvetto, N. R. (2012). Accumulation patterns of phenolic compounds during fruit growth and ripening of *Berberis buxifolia*, a native Patagonian species. *New Zealand Journal of Botany*, 50(1), 15–28. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2011.638644>
- Armstrong, H., Mander, I., Zhang, Z., Armstrong, D., & Wine, E. (2021). Not all fibers are born equal; variable response to dietary fiber subtypes in IBD. *Frontiers in Pediatrics*, 8. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fped.2020.620189>

- 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. <https://doi.org/10.1021/jf061809j>
- Ayala-Zavala, J. F., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodríguez, J. A., Siddiqui, M. W., Dávila-Aviña, J. E., & González-Aguilar, G. A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. In *Food Research International*, *44* (7) pp. 1866–1874. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>
- Badia-Olmos, C., Laguna, L., Haros, C. M., & Tárrega, A. (2023). Techno-functional and rheological properties of alternative plant-based flours. *Foods*, *12*(7), 1411. <https://doi.org/10.3390/foods12071411>
- Barrientos, P. A., García, V. E., & Avitia, G. E. (1996). Anatomía del fruto de aguacate, ¿Drupa o Baya? *Revista Chapingo Serie Horticultura*, *2*, 189–198.
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, *239*(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bernal, J. A., Cipriano, E., & Díaz Díez, A. (2020). Generalidades del cultivo. In *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (pp. 77–312). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Bressani, R. (2009). *La composición química, capacidad antioxidativa y valor nutritivo de la semilla de variedades de aguacate*. Recuperado 03 del 2009. https://biblioteca.senacyt.gob.gt/library/images/1/1b/Fodecyt_2006.02.pdf
- Bressiani, J., Oro, T., Santetti, G. S., Almeida, J. L., Bertolin, T. E., Gómez, M., & Gutkoski, L. C. (2017). Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. *Journal of Cereal Science*, *75*, 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.05.001>

- Burdon, J., Lallu, N., Haynes, G., Francis, K., Patel, M., Laurie, T., & Hardy, J. (2015). Relationship between dry matter and ripening time in “Hass” AVOCADO. *Acta Horticulturae*, 1091, 291–296. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1091.36>
- Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., & Oomah, B. D. (2002). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(24), 6975–6980. <https://doi.org/10.1021/jf020296n>
- Catassi, C., Bai, J. C., Bonaz, B., Bouma, G., Calabrò, A., Carroccio, A., Castillejo, G., Ciacci, C., Cristofori, F., Dolinsek, J., Francavilla, R., Elli, L., Green, P., Holtmeier, W., Koehler, P., Koletzko, S., Meinhold, C., Sanders, D., Schumann, M., ... Fasano, A. (2013). Non-celiac gluten sensitivity: The new frontier of gluten related disorders. In *Nutrients*, 5 (10). 3839–3853. <https://doi.org/10.3390/nu5103839>
- Cerda-Opazo, P., Gotteland, M., Oyarzun-Ampuero, F. A., & Garcia, L. (2021). Design, development and evaluation of nanoemulsion containing avocado peel extract with anticancer potential: A novel biological active ingredient to enrich food. *Food Hydrocolloids*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106370>
- Cheikh Rouhou, M., Abdelmoumen, S., Thomas, S., Attia, H., & Ghorbel, D. (2018). Use of green chemistry methods in the extraction of dietary fibers from cactus rackets (*Opuntia ficus indica*): Structural and microstructural studies. *International Journal of Biological Macromolecules*, 116, 901–910. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.090>
- Chen, J., Gao, D., Yang, L., & Gao, Y. (2013a). Effect of microfluidization process on the functional properties of insoluble dietary fiber. *Food Research International*, 54(2), 1821–1827. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.025>
- Chen, J., Zhang, X., Xue, S., & Xu, X. (2020). Effects of ultrasound frequency mode on myofibrillar protein structure and emulsifying properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 1768–1779. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.114>
- Cho, E., Kim, J.-E., Baik, B.-K., Chun, J.-B., Ko, H., Park, C., & Cho, S.-W. (2019). Influence of physicochemical characteristics of flour on pancake quality attributes.

Journal of Food Science and Technology, 56(3), 1349–1359.
<https://doi.org/10.1007/s13197-019-03607-x>

Chu, J., Zhao, H., Lu, Z., Lu, F., Bie, X., & Zhang, C. (2019a). Improved physicochemical and functional properties of dietary fiber from millet bran fermented by *Bacillus natto*. *Food Chemistry*, 294, 79–86.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.035>

Colombo, R., & Papetti, A. (2019). Avocado (*Persea americana* Mill.) by-products and their impact: from bioactive compounds to biomass energy and sorbent material for removing contaminants. A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 943–951. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14143>

Cowan, A. K., & Wolstenholme, B. N. (2015). Avocado. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 294–300). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00049-0>

Cox, K. A., McGhie, T. K., White, A., & Woolf, A. B. (2004). Skin colour and pigment changes during ripening of “Hass” avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 31(3), 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.008>

Cristiano, M. C., Froiio, F., Costanzo, N., Poerio, A., Lugli, M., Fresta, M., Britti, D., & Paolino, D. (2019). Effects of flour mean particle size, size distribution and water content on rheological properties of wheat flour doughs. *European Food Research and Technology*, 245(9), 2053–2062. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03315-y>

Cronin, P., Joyce, S. A., O’toole, P. W., & O’Connor, E. M. (2021). Dietary fibre modulates the gut microbiota. In *Nutrients* 13 (5).
<https://doi.org/10.3390/nu13051655>

Dávila, J. A., Rosenberg, M., Castro, E., & Cardona, C. A. (2017). A model biorefinery for avocado (*Persea americana* mill.) processing. *Bioresource Technology*, 243, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.063>

De Palma, G., Nadal, I., Collado, M. C., & Sanz, Y. (2009). Effects of a gluten-free diet on gut microbiota and immune function in healthy adult human subjects. *British*

Journal of Nutrition, 102(8), 1154–1160.
<https://doi.org/10.1017/S0007114509371767>

Del Castillo-Llamosas, A., Rodríguez-Martínez, B., del Río, P. G., Eibes, G., Garrote, G., & Gullón, B. (2021). Hydrothermal treatment of avocado peel waste for the simultaneous recovery of oligosaccharides and antioxidant phenolics. *Bioresource Technology*, 342. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125981>

Deshpande, S., & Cheryan, M. (1987). Determination of phenolic compounds of dry beans using vanillin, redox and precipitation assays. *Journal of Food Science*, 52(2), 332–334. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb06606.x>

Devi, S. R., Kumari, T., & Deka, S. C. (2023). Extraction of dietary fiber and phytochemicals from bottle gourd seeds (*Lagenaria siceraria*), its physicochemical properties and application in food model. *Food Chemistry Advances*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100252>

Díaz Puentes, L. N. (2009). Interacciones moleculares entre plantas y microorganismos: saponinas como defensas químicas de las plantas y su tolerancia a los microorganismos. Una revisión. *Revista de Estudios Transdisciplinarios*, 1. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179214945004>

Ding, Q., Li, Z., Wu, W., Su, Y., Sun, N., Luo, L., Ma, H., & He, R. (2020a). Physicochemical and functional properties of dietary fiber from *Nannochloropsis oceanica*: A comparison of alkaline and ultrasonic-assisted alkaline extractions. *LWT*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110080>

Dorantes-Álvarez, L., Ortiz-Moreno, A., & García-Ochoa, F. (2012). Avocado. In *tropical and subtropical fruits postharvest physiology, processing and packaging* (1st ed., pp. 437–455). Wiley-Blackwell.

Duarte, P. F., Chaves, M. A., Borges, C. D., & Mendonça, C. R. B. (2016). Abacate: Características, benefícios à saúde e aplicações. *Ciência Rural*, 46(4), 747–754. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141516>

- Escobar, C. A. (2022). The Chilean bellflower, *Lapageria rosea* R. et P. and its Chemistry. *Revista de Química PUCP*, 36.
- FAOSTAT. (2023). *FAOSTAT*.
- Fardet, A. (2010). New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? *Nutrition Research Reviews*, 23(1), 65–134. <https://doi.org/10.1017/S0954422410000041>
- Ferreira, S. M., & Santos, L. (2022). From by-product to functional ingredient: Incorporation of avocado peel extract as an antioxidant and antibacterial agent. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103116. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103116>
- Figuroa, J. G., Borrás-Linares, I., Del Pino-García, R., Curiel, J. A., Lozano-Sánchez, J., & Segura-Carretero, A. (2021). Functional ingredient from avocado peel: Microwave-assisted extraction, characterization and potential applications for the food industry. *Food Chemistry*, 352. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129300>
- Figuroa, J. G., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J., & Segura-Carretero, A. (2018). Comprehensive identification of bioactive compounds of avocado peel by liquid chromatography coupled to ultra-high-definition accurate-mass Q-TOF. *Food Chemistry*, 245, 707–716. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.011>
- Fukumoto, L. R., & Mazza, G. (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3597–3604. <https://doi.org/10.1021/jf000220w>
- García-Vargas, M. C., Contreras, M. del M., Gómez-Cruz, I., Romero-García, J. M., & Castro, E. (2021). *Avocado-derived biomass: chemical composition and antioxidant potential*. 100. https://doi.org/10.3390/foods_2020-07750
- Ge, X., Jing, L., Zhao, K., Su, C., Zhang, B., Zhang, Q., Han, L., Yu, X., & Li, W. (2021). The phenolic compounds profile, quantitative analysis and antioxidant activity of

four naked barley grains with different color. *Food Chemistry*, 335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127655>

Ghosh, S., Sarkar, T., Das, A., & Chakraborty, R. (2022). Natural colorants from plant pigments and their encapsulation: an emerging window for the food industry. In *LWT* (Vol. 153). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112527>

Gil-López, D. I. L., Lois-Correa, J. A., Sánchez-Pardo, M. E., Domínguez-Crespo, M. A., Torres-Huerta, A. M., Rodríguez-Salazar, A. E., & Orta-Guzmán, V. N. (2019). Production of dietary fibers from sugarcane bagasse and sugarcane tops using microwave-assisted alkaline treatments. *Industrial Crops and Products*, 135, 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.042>

Gobbetti, M., Pontonio, E., Filannino, P., Rizzello, C. G., De Angelis, M., & Di Cagno, R. (2018). How to improve the gluten-free diet: The state of the art from a food science perspective. *Food Research International*, 110, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.010>

Hapuarachchi, N. S., Kämper, W., Wallace, H. M., Hosseini Bai, S., Ogbourne, S. M., Nichols, J., & Trueman, S. J. (2022). Boron effects on fruit set, yield, quality and paternity of 'Hass' avocado. *Agronomy*, 12(6), 1479. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061479>

Hiai, S., Oura, H., & Nakajima, T. (1976). Color reaction of some sapogenins and saponins with vainillin and sulfuric Acid. *Planta Medica*, 29(02), 116–122. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1097639>

Horwitz, W., & AOAC International. (2002). *Official methods of analysis of AOAC International*.

Huang, S. Q., Li, J. W., Wang, Z., Pan, H. X., Che, J. X., & Ning, Z. X. (2010). Optimization of alkaline extraction of polysaccharides from *Ganoderma lucidum* and their effect on immune function in mice. *Molecules*, 15(5), 3694–3708. <https://doi.org/10.3390/molecules15053694>

- Ibrahim, M. S., Nadeem, M., Khalid, W., Ainee, A., Roheen, T., Javaria, S., Ahmed, A., Fatima, H., Riaz, M. N., Khalid, M. Z., Mohamed Ahmed, I. A., & Aljobair, M. O. (2024). Optimization of ultrasound assisted extraction and characterization of functional properties of dietary fiber from oat cultivar S2000. *LWT*, *197*, 115875. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115875>
- Instituto de Salud para el Bienestar. (2022, May 5). *Día Internacional de la Enfermedad Celiaca | 05 de mayo*. Gobierno de Mexico.
- Jacobsen, F. E., Lewis, J. A., & Cohen, S. M. (2007). The design of inhibitors for medicinally relevant metalloproteins. In *ChemMedChem*. *2* (2). 152–171. <https://doi.org/10.1002/cmdc.200600204>
- Jia, K., Wang, W., Zhang, Q., & Jia, W. (2023). Cell wall integrity signaling in fruit ripening. *International Journal of Molecular Sciences*. *24* (4). <https://doi.org/10.3390/ijms24044054>
- Jiang, G., Feng, X., Wu, Z., Li, S., Bai, X., Zhao, C., & Ameer, K. (2021). Development of wheat bread added with insoluble dietary fiber from ginseng residue and effects on physiochemical properties, in vitro adsorption capacities and starch digestibility. *LWT*, *149*, 111855. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111855>
- Jimenez, P., Garcia, P., Quitral, V., Vasquez, K., Parra-Ruiz, C., Reyes-Farias, M., Garcia-Diaz, D. F., Robert, P., Encina, C., & Soto-Covasich, J. (2021). Pulp, leaf, peel and seed of avocado fruit: A review of bioactive compounds and healthy benefits. In *Food Reviews International*. *37* (6). 619–655. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1717520>
- Jorge, M. H., Elizabeth, A. G., Odilón, S. S., & Ofelia, A. V.-R. (2017). Fortification of hotcakes from edible flour of non-toxic Mexican *Jatropha curcas* L. *African Journal of Food Science*, *11*(4), 106–111. <https://doi.org/10.5897/AJFS2016.1551>
- Juárez, C. (2020). *Consumen en México hasta 17 distintos platillos a la semana*. The Food Tech. <https://thefoodtech.com/tendencias-de-consumo/consumen-en-mexico-hasta-17-distintos-platillos-a-la-semana/>

- Karra, S., Sebi, H., Yaich, H., Bouaziz, M. A., Blecker, C., Danthine, S., Attia, H., & Besbes, S. (2020). Effect of extraction methods on the physicochemical, structural, functional, and antioxidant properties of the dietary fiber concentrates from male date palm flowers. *Journal of Food Biochemistry*, 44(6). <https://doi.org/10.1111/jfbc.13202>
- Khorasaniha, R., Olof, H., Voisin, A., Armstrong, K., Wine, E., Vasanthan, T., & Armstrong, H. (2023). Diversity of fibers in common foods: Key to advancing dietary research. *Food Hydrocolloids*, 108495. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108495>
- Kim, J.-M., & Shin, M. (2014). Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 526–532. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.042>
- Kolodyaznaya, V. S., Burova, T. E., Kiprushkina, E. I., Shestopalova, I. A., Broyko, Y. V., Filippov, V. I., Klementiev, D. A., & Kostyuk, V. A. (2020). Dynamics of physiological and biochemical processes in avocado fruit treated with preparations during storage. *Progress on Chemistry and Application of Chitin and Its Derivatives*, XXV, 111–123. <https://doi.org/10.15259/PCACD.25.008>
- Krupa-Kozak, U., Drabińska, N., Bączek, N., Šimková, K., Starowicz, M., & Jeliński, T. (2021). Application of broccoli leaf powder in gluten-free bread: an innovative approach to improve its bioactive potential and technological quality. *Foods*, 10(4), 819. <https://doi.org/10.3390/foods10040819>
- Kučerová, J., Šottníková, V., & Nedomová, Š. (2013). Influence of dietary fibre addition on the rheological and sensory Properties of dough and bakery products. *Czech Journal of Food Science*. 31 (4). <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/cjf/2013/04/06.pdf>
- Lebwohl, B., & Rubio-Tapia, A. (2021). Epidemiology, presentation, and diagnosis of celiac disease. *Gastroenterology*, 160(1), 63–75. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.06.098>

- Li, S., Mu, B., Wang, X., & Wang, A. (2021). Recent researches on natural pigments stabilized by clay minerals: A review. *Dyes and Pigments*, 190, 109322. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2021.109322>
- Lister, I. N. E., Amiruddin, H. L., Fachrial, E., & Girsang, E. (2021). Anti-aging effectiveness of avocado peel extract ointment (*Persea americana* Mill.) against hydration, collagen, and elasticity levels in Wistar Rat. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 173–184. <https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i32b31760>
- López-Cobo, A., Gómez-Caravaca, A. M., Pasini, F., Caboni, M. F., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2016). HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS and HPLC-FLD-MS as valuable tools for the determination of phenolic and other polar compounds in the edible part and by-products of avocado. *LWT*, 73, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.049>
- Louis, M. R. L. M., Pushpa, V., Balakrishna, K., & Ganesan, P. (2020). Mosquito larvicidal activity of Avocado (*Persea americana* Mill.) unripe fruit peel methanolic extract against *Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus* and *Anopheles stephensi*. *South African Journal of Botany*, 133, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.06.020>
- Ma, F., Lee, Y. Y., Park, E., Luod, Y., Delwiche, S., & Baik, B.-K. (2021). Influences of hydrothermal and pressure treatments of wheat bran on the quality and sensory attributes of whole wheat Chinese steamed bread and pancakes. *Journal of Cereal Science*, 102, 103356. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103356>
- Majid, D., Dar, B. N., Parveen, S., Jabeen, A., Allai, F. M., Sofi, S. A., & Ganaie, T. A. (2020). Avocado. In *Antioxidants in Fruits: Properties and Health Benefits* (pp. 103–123). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7285-2_6
- Marta, H., Febiola, C., Cahyana, Y., Arifin, H. R., Fetriyuna, F., & Sondari, D. (2023). Application of composite flour from Indonesian local tubers in gluten-free pancakes. *Foods*, 12(9), 1892. <https://doi.org/10.3390/foods12091892>
- Miranda, C., Zarela, A., Suarez, R., & Rebeca, N. (2021). *Evaluation of the nutritional composition of noodles made from the partial substitution of wheat flour for Persea*

americana (avocado) shell flour [Universidad peruana de ciencias aplicadas].
<http://hdl.handle.net/10757/656746>

- Monteiro, J. S., Farage, P., Zandonadi, R. P., Botelho, R. B. A., de Oliveira, L. de L., Raposo, A., Shakeel, F., Alshehri, S., Mahdi, W. A., & Araújo, W. M. C. (2021). A systematic review on gluten-free bread formulations using specific volume as a quality indicator. *Foods*, *10*(3), 614. <https://doi.org/10.3390/foods10030614>
- Morais, D. R., Rotta, E. M., Sargi, S. C., Bonafe, E. G., Suzuki, R. M., Souza, N. E., Matsushita, M., & Visentainer, J. V. (2016). Proximate composition, mineral contents and fatty acid composition of the different parts and dried peels of tropical fruits cultivated in Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, *28* (2), 308-318. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160178>
- Németh, R., Turóczy, F., Csernus, D., Solymos, F., Jaksics, E., & Tömösközi, S. (2021). Characterization of chemical composition and techno-functional properties of oat cultivars. *Cereal Chemistry*, *98*(6), 1183–1192. <https://doi.org/10.1002/cche.10470>
- Nenadis, N., Wang, L.-F., Tsimidou, M., & Zhang, H.-Y. (2004). Estimation of scavenging activity of phenolic compounds using the ABTS ^{••} Assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*(15), 4669–4674. <https://doi.org/10.1021/jf0400056>
- Nguyen, L., Fărcas, A., Socaci, S., Tofană, M., Diaconeasa, Z., Pop, O., & Salantă, L. (2020). An overview of saponins: a bioactive group. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, *77*(1), 25–36. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:2019.0036>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994, Bienes y servicios. alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. especificaciones nutrimentales (1994).
- Norma Oficial Mexicana NOM-120-SSA1-1994 Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas. (1994).

NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. (2008).

Obinna-Echem, P. C., Friday, I., Fyne-Akah, , Homa, & Ifeoma, L. (2024). Quality assessment of pancakes produced from wheat and tigernut composite flour. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 9(1), 12–20. <https://www.researchgate.net/publication/379120422>

Oboh, G., Temitope Isaac, A., Jacobson Akinyemi, A., & Ajani, R. A. (2014). Inhibition of key enzymes linked to type 2 diabetes and sodium nitroprusside induced lipid peroxidation in rats' pancreas by phenolic extracts of avocado pear leaves and fruit anti-diabetic potential of *Persea americana*. *International Journal of Biomedical Science*, 10(3), 208-216. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4199475/pdf/IJBS-10-208.pdf>

Odo, C. E., Nwodo, O. F. C., Joshua, P. E., Ugwu, O. P. C., & Okonkwo, C. C. (2013). Acute toxicity investigation and anti-diarrheal effect of the chloroform–methanol extract of the seeds of *Persea americana* in albino rats. *Journal of Pharmacy Research*, 6(3), 331–335. <https://doi.org/10.1016/j.jopr.2013.03.012>

Okathok, S., Sirisopapong, M., Mermillod, P., & Khempaka, S. (2023). Modified dietary fiber from cassava pulp affects the cecal microbial population, short-chain fatty acid, and ammonia production in broiler chickens. *Poultry Science*, 102(1). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102265>

Oomah, B. D., Cardador-Martínez, A., & Loarca-Piña, G. (2005). Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), 935–942. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2019>

Pedreschi, R., Uarrota, V., Fuentealba, C., Alvaro, J. E., Olmedo, P., Defilippi, B. G., Meneses, C., & Campos-Vargas, R. (2019). Primary metabolism in avocado fruit.

In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 10). Frontiers Media S.A.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00795>

Pérez-Torres, I., Castrejón-Téllez, V., Soto, M. E., Rubio-Ruiz, M. E., Manzano-Pech, L., & Guarner-Lans, V. (2021). Oxidative stress, plant natural antioxidants, and obesity. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 1–26.

Permal, R., Leong Chang, W., Seale, B., Hamid, N., & Kam, R. (2020). Converting industrial organic waste from the cold-pressed avocado oil production line into a potential food preservative. *Food Chemistry*, 306.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125635>

Popoola-Akinola, O. O., Raji, T. J., & Olawoye, B. (2022). Lignocellulose, dietary fibre, inulin and their potential application in food. *Heliyon*, 8 (8).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10459>

Portero Mira, Z. (2018). *El napping, una técnica sensorial aplicada en diferentes productos*. Universidad Miguel Hernández de Elche.

PROFECO. (2023). Harinas preparadas para hot cakes. *Revista Del Consumidor*, 554, 10–61.

Rahman, N., Sabang, S. M., Abdullah, R., & Bohari, B. (2022). Antioxidant properties of the methanolic extract of avocado fruit peel (*Persea americana* Mill.) from Indonesia. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 13(3), 166–170. https://doi.org/10.4103/japtr.japtr_22_22

Rakmai, J., Haruthaithanasan, V., Chompreeda, P., Chatakanonda, P., & Yonkoksung, U. (2021). Development of gluten-free and low glycemic index rice pancake: Impact of dietary fiber and low-calorie sweeteners on texture profile, sensory properties, and glycemic index. *Food Hydrocolloids for Health*, 1, 100034.
<https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2021.100034>

Ramos-Aguilar, A. L., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L. M., Gardea-Béjar, A. A., Yahia, E. M., Ornelas-Paz, J. de J., Ruiz-Cruz, S., Rios-Velasco, C., & Escalante-Minakata, P. (2021). Effect of cultivar on the content of selected phytochemicals in

avocado peels. *Food Research International*, 140.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110024>

Ranade, S. S., & Thiagarajan, P. (2015). A review on *Persea Americana* Mill. (Avocado) Its fruit and oil. *International Journal of PharmTech Research*. 8(6).
[https://sphinxesai.com/2015/ph_vol8_no6/1/\(72-77\)V8N6PT.pdf](https://sphinxesai.com/2015/ph_vol8_no6/1/(72-77)V8N6PT.pdf)

Remes-Troche, J., Uscanga-Domínguez, L., Aceves-Tavares, R., Calderón de la Barca, A., Carmona-Sánchez, R., Cerda-Contreras, E., Coss-Adame, E., Icaza-Chávez, M., López-Colombo, A., Milke-García, M., Morales-Arámbula, M., Peláez-Luna, M., Ramos Martínez, P., Sánchez-Sosa, S., Treviño-Mejía, M., Vázquez-Frías, R., Worona-DibnerñDibnerñ, L., Zamora-Nava, L., & Rubio-Tapia, A. (2018). Clinical guidelines on the diagnosis and treatment of celiac disease in Mexico. *Revista de Gastroenterología de México*, 83(4), 434–450.
<https://doi.org/10.1016/j.rgmx.2018.05.005>

Rocchetti, G., Gregorio, R. P., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., Oliveira, P. G., Prieto, M. A., Simal-Gandara, J., Mosele, J. I., Motilva, M., Tomas, M., Patrone, V., Capanoglu, E., & Lucini, L. (2022). Functional implications of bound phenolic compounds and phenolics–food interaction: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 811–842. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12921>

Rodríguez-Carpena, J. G., Morcuende, D., Andrade, M. J., Kylli, P., & Estevez, M. (2011). 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.
<https://doi.org/10.1021/jf1048832>

Rodríguez-Martínez, B., Ferreira-Santos, P., Gullón, B., Teixeira, J. A., Botelho, C. M., & Yáñez, R. (2021). Exploiting the Potential of Bioactive Molecules Extracted by Ultrasounds from Avocado Peels—Food and Nutraceutical Applications. *Antioxidants*, 10(9), 1475. <https://doi.org/10.3390/antiox10091475>

Rodríguez-Martínez, B., Romaní, A., Eibes, G., Garrote, G., Gullón, B., & del Río, P. G. (2022). Potential and prospects for utilization of avocado by-products in integrated

biorefineries. In *Bioresource Technology*. 364.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128034>

Rojas-Flores, S., De La Cruz-Noriega, M., Nazario-Naveda, R., Benites, S. M., Delfin-Narciso, D., Rojas-Villacorta, W., & Romero, C. V. (2022). Bioelectricity through microbial fuel cells using avocado waste. *Energy Reports*, 8, 376–382.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.06.100>

Rolz, C., Arriola, M. del C., Menchú, J. F., & Rolz, C. (1979). THE AVOCADO. In *Tropical Food: Chemistry and Nutrition* (pp. 609–624). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-370902-8.50019-8>

Rotta, E. M., Morais, D. R. de, Biondo, P. B. F., Santos, V. J. dos, Matsushita, M., & Visentainer, J. V. (2015). Use of avocado peel (*Persea americana*) in tea formulation: a functional product containing phenolic compounds with antioxidant activity. *Acta Scientiarum. Technology*, 38(1), 23.
<https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i1.27397>

Rubio-Tapia, A., Hill, I. D., Kelly, C. P., Calderwood, A. H., & Murray, J. A. (2013). ACG clinical guidelines: Diagnosis and management of celiac disease. *American Journal of Gastroenterology*, 108(5), 656–676. <https://doi.org/10.1038/ajg.2013.79>

Saavedra, J., Córdova, A., Navarro, R., Díaz-Calderón, P., Fuentealba, C., Astudillo-Castro, C., Toledo, L., Enrione, J., & Galvez, L. (2017). Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. *Journal of Food Engineering*, 198, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.018>

Sabença, C., Ribeiro, M., Sousa, T. de, Poeta, P., Bagulho, A. S., & Igrejas, G. (2021). Wheat/Gluten-Related Disorders and Gluten-Free Diet Misconceptions: A Review. *Foods*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/foods10081765>

Salazar-López, N. J., Salmerón-Ruiz, M. L., Domínguez-Avila, J. A., Villegas-Ochoa, M. A., Ayala-Zavala, J. F., & González-Aguilar, G. A. (2021). Phenolic compounds from 'Hass' avocado peel are retained in the indigestible fraction after an in vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1982–1990. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00794-6>

- Salmeron-Ruiz, M. L. (2014). *Fracción indigestible, biaccesibilidad in vitro y actividad antioxidante, de compuestos fenólicos de la cáscara de aguacate cv. "Hass."* Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/391/1/SALMERON-RUIZ-ML14.pdf>
- Sánchez-Quezada, V., Campos-Vega, R., & Loarca-Piña, G. (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(3), 311–318. <https://doi.org/10.1007/s11130-021-00900-z>
- Sang, J., Li, L., Wen, J., Liu, H., Wu, J., Yu, Y., Xu, Y., Gu, Q., Fu, M., & Lin, X. (2022). Chemical composition, structural and functional properties of insoluble dietary fiber obtained from the Shatian pomelo peel sponge layer using different modification methods. *LWT*, 165, 113737. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113737>
- Sharma, M., Usmani, Z., Gupta, V. K., & Bhat, R. (2021). Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments. In *Critical Reviews in Biotechnology*. 41 (4). 535–563. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873240>
- Shiga, K., Hara, H., Aoyama, Y., & Okano, G. (2003). Ingestion of water-soluble soybean fiber prevents gastrectomy-induced iron malabsorption, anemia and impairment of voluntary running exercise performance in rats. *The Journal of Nutrition*, 133(4), 1120–1126. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1120>
- SIAP. (2022). *Escenario mensual de productos agroalimentarios*. www.gob.mx/siap
- Singh, P., Arora, A., Strand, T. A., Leffler, D. A., Catassi, C., Green, P. H., Kelly, C. P., Ahuja, V., & Makharia, G. K. (2018). Global prevalence of celiac disease: systematic review and meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 16(6), 823-836.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2017.06.037>

- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). *Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent* (pp. 152–178). [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sumardiono, S., Jos, B., Antoni, M. F. Z., Nadila, Y., & Handayani, N. A. (2022). Physicochemical properties of novel artificial rice produced from sago, arrowroot, and mung bean flour using hot extrusion technology. *Heliyon*, 8(2), e08969. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08969>
- Sun, J., Zhang, Z., Xiao, F., Wei, Q., & Jing, Z. (2018). Ultrasound-assisted alkali extraction of insoluble dietary fiber from soybean residues. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 392(5). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/392/5/052005>
- Tejada-Ortigoza, V., Garcia-Amezquita, L. E., Serna-Saldívar, S. O., & Welti-Chanes, J. (2016). Advances in the functional characterization and extraction processes of dietary fiber. *Food Engineering Reviews*, 8(3), 251–271. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9134-y>
- Torres, E., García, A., Aranda, M., Saéz, V., Zúñiga, F., Alarcón, J., Avello, M., & Pastene, E. (2018). One-step purification of two semi-synthetic epicatechin adducts prepared from avocado peels procyanidins by centrifugal partition chromatography and evaluation of their anti-inflammatory effects on adenocarcinoma gastric cells infected with *Helicobacter pylori*. *J. Chil. Chem. Soc*, 63.
- Tremocoldi, M. A., Rosalen, P. L., Franchin, M., Massarioli, A. P., Denny, C., Daiuto, É. R., Paschoal, J. A. R., Melo, P. S., & Alencar, S. M. de. (2018). Exploration of avocado by-products as natural sources of bioactive compounds. *PLOS ONE*, 13(2), e0192577. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192577>
- Trujillo-Mayol, I., Casas-Forero, N., & Pastene-Navarrete, E. (2020). Fractionation and Hydrolyzation of Avocado Peel Extract: Improvement of Antibacterial Activity. *Antibiotics*, 10 (23), 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/antibiotics10010023>

- Unuofin, J. O., & Lebelo, S. L. (2020). Antioxidant effects and mechanisms of medicinal plants and their bioactive compounds for the prevention and treatment of type 2 diabetes: an updated review. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020, 1–36. <https://doi.org/10.1155/2020/1356893>
- Velderrain-Rodríguez, G. R., Quero, J., Osada, J., Martín-Belloso, O., & Rodríguez-Yoldi, M. J. (2021). Phenolic-rich extracts from avocado fruit residues as functional food ingredients with antioxidant and antiproliferative properties. *Biomolecules*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/biom11070977>
- Velderrain-Rodríguez, G. R., Salvia-Trujillo, L., González-Aguilar, G. A., & Martín-Belloso, O. (2021). Interfacial activity of phenolic-rich extracts from avocado fruit waste: Influence on the colloidal and oxidative stability of emulsions and nanoemulsions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102665>
- Wang, A., Wu, L., & Li, X. (2013). Optimization of ultrasonic-assisted preparation of dietary fiber from corn pericarp using response surface methodology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(12), 2922–2926. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6083>
- Wang, K., Li, M., Wang, Y., Liu, Z., & Ni, Y. (2021). Effects of extraction methods on the structural characteristics and functional properties of dietary fiber extracted from kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Food Hydrocolloids*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106162>
- Wang, L., Xu, H., Yuan, F., Fan, R., & Gao, Y. (2015). Preparation and physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange peel assisted by steam explosion and dilute acid soaking. *Food Chemistry*, 185, 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.112>
- Wang, W., Bostic, T. R., & Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*, 122(4), 1193–1198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.114>

- Xu, P., & Yu, B. (2021). *Chemical synthesis of saponins: An update. Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 79, (pp. 1–62). <https://doi.org/10.1016/bs.accb.2021.11.001>
- Yahia, E. M., & Woolf, A. B. (2011). Avocado (*Persea americana* Mill.). In *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (Vol. 2, pp. 125–186). Woodhead Publishing.
- Yin, W., Liu, M., Xie, J., Jin, Z., Ge, S., Guan, F., Liu, H., Zheng, M., Cai, D., & Liu, J. (2022). Removal of bound polyphenols and its effect on structure, physicochemical and functional properties of insoluble dietary fiber from adzuki bean seed coat. *LWT*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114011>
- Zhang, E. (2012). *The development of hotcake products with reduced staling*. Massey University, Institute of Food, Nutrition and human health.
- Zhang, X., Jin, M., Tadesse, N., Xian, L., Zhang, H., Wang, S., Dang, J., Zhang, Y., Guo, Z., & Ito, Y. (2017). Safety investigation on total steroid saponins extracts from *Dioscorea zingiberensis* C.H. Wright: Sub-acute and chronic toxicity studies on dogs. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 91, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2017.10.014>

IX. ANEXOS

Anexo 1: Porcentajes y porcentajes acumulados de cada componente del PCA

Componente Principal (PCA)	Porcentaje	Porcentaje acumulado
PC1	59.4	59.4
PC2	27.8	87.3
PC3	6.5	93.8
PC4	3.8	97.6
PC5	2.4	100
PC6	0.0	100
PC7	0.0	100
PC8	0.0	100
PC9	0.0	100
PC10	0.0	100
P11	0.0	100
P12	0.0	100
P13	0.0	100
P14	0.0	100
P15	0.0	100
P16	0.0	100
P17	0.0	100

Anexo 2: Participación de cada variable en cada componente a partir del análisis de componentes principales (PCA).

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17
Humedad	-0.234	-0.072	-0.437	0.163	0.685	0.148	0.278	0.125	-0.064	-0.078	0.208	0.056	0.227	-0.076	0.125	-0.094	0.005
Cenizas	-0.314	0.003	-0.005	-0.061	0.079	0.415	-0.152	-0.611	0.263	0.073	0.219	-0.143	-0.231	0.099	-0.243	-0.124	0.207
Lípidos	0.299	0.096	0.197	0.085	-0.101	0.188	0.036	0.238	0.276	-0.154	0.508	-0.026	-0.102	0.138	0.482	-0.259	0.255
Proteínas	0.183	-0.220	0.453	0.483	0.354	-0.002	-0.164	-0.201	0.211	0.035	-0.155	0.404	-0.056	-0.164	0.055	0.049	-0.135
CH	0.312	0.004	-0.102	-0.008	-0.129	0.052	0.534	-0.137	0.327	-0.278	-0.179	0.075	0.139	-0.302	-0.271	0.128	0.382
FDT	0.306	-0.099	-0.024	0.088	-0.026	0.398	-0.173	-0.160	-0.278	0.228	0.058	-0.312	0.347	-0.148	0.226	0.486	0.115
FDI	0.283	-0.198	0.034	0.031	0.033	0.102	-0.127	-0.152	-0.610	-0.423	-0.052	0.037	0.004	0.08	-0.185	-0.452	0.165
FDS	-0.162	0.371	-0.242	0.102	-0.176	0.059	-0.230	-0.248	0.081	-0.265	-0.359	0.02	0.111	-0.332	0.478	-0.231	-0.089
CFT	-0.249	-0.277	-0.057	0.073	-0.119	0.406	-0.323	0.574	0.106	-0.022	-0.231	0.066	-0.115	-0.228	-0.161	-0.018	0.280
FT	-0.216	0.109	0.574	-0.339	0.286	0.225	0.202	0.088	-0.004	-0.253	-0.345	-0.256	0.144	0.158	0.139	0.054	-0.003
TCT	-0.062	0.431	0.242	-0.171	0.001	0.132	0.114	0.036	-0.278	0.468	0.110	0.407	0.142	-0.314	-0.087	-0.221	0.206
DPPH	0.236	0.271	-0.021	0.355	0.140	-0.041	-0.055	0.136	0.181	0.321	-0.257	-0.479	0.177	0.15	-0.259	-0.385	0.037
ABTS	0.219	0.308	-0.201	0.037	0.224	0.133	0.099	0.033	-0.182	0.085	-0.298	0.075	-0.682	0.182	0.138	0.235	0.171
FRAP	0.086	0.437	0.100	0.055	0.144	0.042	-0.206	0.152	-0.028	-0.377	0.334	-0.178	-0.143	-0.366	-0.361	0.214	-0.288
CRA	0.198	-0.318	0.007	-0.405	0.215	-0.169	0.001	-0.035	0.059	0.199	-0.014	-0.321	-0.302	-0.542	0.153	-0.248	-0.059
CRO	0.303	-0.046	-0.158	-0.229	-0.093	0.537	0.124	0.044	0.144	0.072	-0.079	0.208	0.035	0.120	-0.083	-0.162	-0.625
CAG	0.268	0.115	-0.165	-0.463	0.313	-0.158	-0.508	0.012	0.253	-0.061	-0.048	0.244	0.257	0.188	-0.056	0.082	0.225

